MATERIAL DIDÁCTICO
INGENIERÍA

28

Prácticas de mecanizado en torno y fresadora

Alpha Pernía Espinoza
Julio Blanco Fernández
José Manuel Sierra Soto
Juan Carlos Azofra Rueda
Fco. Javier Martínez de Pisón Ascacíbar





PRÁCTICAS DE MECANIZADO EN TORNO Y FRESADORA

MATERIAL DIDÁCTICO

Ingeniería
nº 28

Otros títulos de la colección

.

8. **Prácticas de C.A.D. Microstation 2D (2ª ed.)**
José Lafargue Izquierdo
1999, 224 pags. ISBN 84-95301-15-6

9. **Programación de proyectos**
Joaquín Ordieres Meré
1999, 96 pags. ISBN 84-95301-16-4

10. **Termodinámica fundamental (2ª ed.)**
J. M. Sala Lizarraga, Luis M. López
2000, 448 pags. ISBN 84-95301-25-3

11. **Termodinámica aplicada (2ª ed.)**
J. M. Sala Lizarraga, L. M. López y Victor de la Peña
2000, 584 pags. ISBN 84-95301-26-1

12. **Problemas Termodinámica fundamental (2ª ed.)**
J. M. Sala Lizarraga, Luis M. López y Felipe Jiménez
2000, 490 pags. ISBN 84-95301-27-X

13. **Problemas Termodinámica aplicada (2ª ed.)**
J. M. Sala Lizarraga, Luis M. López y M.M: Ruiz de Adana
2000, 432 pags. ISBN 84-95301-28-8

14. **Problemas de calor y frío industrial**
L. M. López, J. M. Sala y J. M. Blanco Ilzarbe
2000, 418 pags. ISBN 84-95301-29-6

15. **Apuntes de cartografía y proyecciones cartográficas**
Jacinto Santamaría Peña
2000, 74pags. ISBN 84-95301-30 X

16. **Apuntes de fotogrametría**
Jacinto Santamaría Peña y Teófilo Sanz Méndez
2000, 68pags. ISBN 84-95301-30-X

17. **Perspectiva: fundamentos y aplicaciones. Axonométrico. Caballera. Cónico**
Ricardo Bartolomé Ramírez
2000, 260 pags. ISBN 84-95301-33-4

18. **Problemas de resistencia de materiales. Nivel básico. Ingeniería agrícola**
Eduardo Martínez de Pisón Ascacibar
2001, 446 pags. ISBN 84-95301-44-X

19. **Sonometría y contaminación acústica.**
Javier de Cos, J. Ordieres, M. Castejón, F. J. Martínez de Pisón
2001, 384 pags. ISBN 84-95301-47-4

20. **Cuadernos de prácticas de informática industrial. Modulo 1: enunciados de prácticas en ensamblador**
F. J. Martínez de Pisón, J. Ordieres, M. Castejón, F. J. de Cos, M. Gil.
2001, 110 pags. ISBN 84-95301-58-X

21. **La oficina técnica y los proyectos industriales**
F. J. Martínez de Pisón, J. Ordieres, M. Castejón, F. J. de Cos, E. P. Vergara, F. Alba.
2 v. ISBN 84-95475-32-4

22. **Manual de prácticas de topografía y cartografía**
Jacinto Santamaría Peña.
115 págs. ISBN 84-689-4103-4

23. **Problemas de electrotecnia**
Edición electrónica.
José Fernando Azofra Catroviejo
113 págs. ISBN 84-689-7232-0

24. **Tecnicas y algoritmos básicos de visión artificial**
Grupo de Investigación EDMANS
2006, 96 pags. ISBN 84-689-9345-X

25. **Prácticas de CAD 3D SolidEdge V18: I. Entornos de pieza, conjunto y plano**
José Lafargue Izquierdo
2008, 331 pags. ISBN 978-84-95301-29-6

26. **Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica**
Grupo de Investigación EDMANS
2009, 96 pags. ISBN 978-84-692-3007-7

27. **Ejercicios resueltos y explicados de circuitos monofásicos en régimen permanente senoidal**
José Fernando Azofra Castroviejo y Diego Azofra Rojo
2011, 211 pags. ISBN 978-84-694-8500-2

Alpha Pernía Espinoza

Julio Blanco Fernández

José Manuel Sierra Soto

Juan Carlos Azofra Rueda

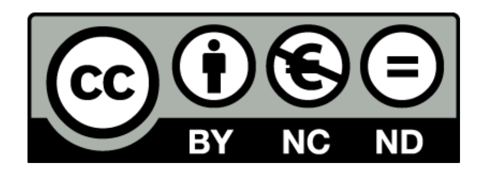
Fco. Javier Martínez de Pisón Ascacíbar

PRÁCTICAS DE MECANIZADO EN TORNO Y FRESADORA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
SERVICIO DE PUBLICACIONES
2018

PRÁCTICAS de mecanizado en torno y fresadora [Recurso electrónico]/ Alpha Pernía Espinoza… [et al.]. - Logroño : Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2018.
v. digital (73 p.) : il.- (Material didáctico. Ingeniería ; 28)
ISBN 978-84-697-5232-6
1. Mecanizado. 2. Tornos. 3. Fresadoras. I. Pernía Espinoza, Alpha. II. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. III. Serie

621.9
621.941
621.914
TGP – IBIC 1.1



Prácticas de mecanizado en torno y fresadora, de Alpha Pernía Espinoza, Julio Blanco Fernández, José Manuel Sierra Soto, Juan Carlos Azofra Rueda y Fco. Javier Martínez de Pisón Ascacíbar (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© Los autores

Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones

Edita: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones

Diseño de portada: Universidad de La Rioja. Servicio de Comunicación

ISBN 978-84-697-5232-6

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más profundo agradecimiento a José Luis San Martín Gonzalo, *gurú* del Taller de Fabricación de Prototipos. Gracias por compartir su infinita sabiduría y experiencia con nosotros, con la dedicación y paciencia características de las personas de gran calidad profesional y humana.

OBJETIVOS

Este libro pretende ser una guía para las prácticas de mecanizado por arranque de viruta llevadas a cabo con torno y fresadora en los grado de ingeniería de nuestra universidad.

A partir del plano de la pieza, el alumno será guiado en la elección de la máquina-herramienta apropiada para cada operación, la herramienta y sistema de sujeción adecuados y los parámetros de mecanizado óptimos.

Es necesario puntualizar que antes de realizar cualquiera de las prácticas el profesor deberá haber explicado con anterioridad los conceptos teóricos relativos a dicha práctica. Además, es imprescindible que el profesor haga una demostración práctica de las operaciones que se desarrollarán en cada sesión de prácticas. Por otro lado, se recomienda al profesor que dé instrucciones al alumno para que complemente una ‘hoja de proceso’ con la descripción del trabajo desarrollado en cada práctica, incluyendo los parámetros de la máquina-herramienta en cada operación realizada.

INTRODUCCIÓN

Este libro pretende ser un compendio del *know-how* acumulado en los últimos cuarenta años en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de la Rioja. En este texto hemos intentado reflejar los conocimientos necesarios para la transición entre el total desconocimiento de los alumnos de Ingeniería del mundo del arranque de viruta y el deshumanizado y automatizado mundo de la maquinaria con CNC (Control Numérico Computacional).

El torno empleado para las explicaciones es un torno paralelo de dos ejes semiautomático con visor. La fresadora utilizada es una fresadora simple de tres ejes, semiautomática, con visor. La pieza ejemplo contiene las operaciones principales que se ejecutaría en una pieza real con éste tipo de máquinas-herramienta.

Las máquinas-herramienta disponibles en el taller para el desarrollo de las prácticas a las cuales hacemos referencia en este libro cuentan con algunos años (50 años). Sin embargo, dichas máquinas han sido bien mantenidas y conservan los requerimientos de calidad para poder fabricar la pieza de manera correcta, respetando las tolerancias exigidas en el plano. La mayoría de las máquinas-herramientas disponibles en el taller cuentan con un visor que indica la posición de la herramienta en los ejes 'x' y 'z'. Las explicaciones dadas en este libro se apoyan en el visor. Sin embrago, los procedimientos que aquí se plasman pueden ser seguidos en máquina-herramienta sin visor, empleando el tambor graduado correspondiente cada eje.

Si bien en la actualidad la tendencia en el mecanizado es utilizar el CNC, el hecho de fabricar una pieza con una máquina-herramienta manual semiautomática, proporcionará al alumno una visión más profunda y cercana de las diferentes operaciones y sus requerimientos de tiempo, velocidad, esfuerzo y seguridad. Este conocimiento, basado en la experiencia, no se consigue al mismo nivel de profundidad con una máquina automática con CNC. De esta manera el alumno contará con una experiencia adicional al alumno formado únicamente con máquina-herramienta automatizada que le será de gran utilidad a la hora de programar una máquina-herramienta con CNC.

Si bien el libro se centra en los procedimientos a seguir con el torno y la fresadora mencionados, se ha incluido un anexo con la descripción de la evolución y el estado del arte del mecanizado por arranque de viruta. Además, dentro del cuerpo del documento, se han introducido comentarios y fotos de las herramientas modernas.

El libro está dividido en 8 capítulos. Cada capítulo está presentado en orden cronológico y corresponde a una fase en la fabricación de la pieza que se llevaría a cabo antes de seguir con las siguientes. Sin embargo, una vez ejecutadas las operaciones de los capítulos 1 y 2, es decir, una vez preparada la pieza en bruto, cilindrado los diámetros y mecanizadas las ranuras, es posible seguir con el capítulo 3, el 4 o el 5 de forma indistinta. Posteriormente, los capítulos 7 y 8 concluirán la ejecución de la pieza ejemplo planteada en este libro.

Las operaciones explicadas en este texto muestran la herramienta adecuada para llevarla a cabo y los parámetros de corte que se deberán establecer en la máquina-herramienta (velocidad de giro de la pieza, profundidad de corte y avance por revolución). La selección de herramienta y sus condiciones de corte se han tratado previamente en las clases de teoría y no se detallarán en este libro. Sin embargo, queremos puntualizar que los parámetros de corte en las operaciones de las prácticas aquí explicadas se han reducido para favorecer la capacidad de reacción de los alumnos inexpertos.

Al final del libro se ofrecen fuentes bibliográficas y referencias webs para que el lector pueda ampliar los conocimientos en el mecanizado por arranque de viruta (Casillas, 2009; Hass-Automation-Inc., 2017; Hoffmann-Group & Instituto-Frauhofer, 2016; IMH, 2017; Interempresas-media, 2017; Izaro, 2017; Kalpakjian & Schmid, 2002; Kent (USA), 2017; Mallorquín & Carrasco, 2012; Mazak, 2017; Nakamura-Tome, 2017; Sandvik Coromant., 1994, 2017).

Consideraciones de seguridad

Durante la realización de las prácticas aquí expuestas es de vital importancia cumplir una serie de medidas de seguridad para evitar posibles accidentes por riesgos mecánicos o térmicos. Los peligros mecánicos más frecuentes en el uso de máquinas-herramienta son el aplastamiento, el cizallamiento, el corte, el enganche, el arrastre, el atrapamiento, el impacto, la perforación, la fricción y la proyección de partículas o de fluido a presión. Por otro lado, el peligro térmico principal se produce por el calentamiento de la superficie de la pieza y de la herramienta debido a la fricción entre ambas durante el corte.

Para garantizar la seguridad de los usuarios de las máquinas y herramientas del taller (alumnado, técnicos y profesores es indispensable el estricto cumplimiento de la normativa de riesgos laborales de la Universidad de La Rioja establecida bajo el RD. 1215/1997. La normativa recogida por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad de La Rioja se encuentra en el siguiente link bajo el título: “Normas para las prácticas con riesgo eléctrico y/o mecánico”:

https://www.unirioja.es/servicios/sprl/rec_alumnos.shtml

También se exige a los alumnos leer la “Información sobre las prácticas con riesgo eléctrico y/o mecánico” que se encuentra en el siguiente link:

https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/inf_alumnos_electrica_mecanica.pdf

Antes de hacer uso de las máquinas y herramientas del taller es obligación del alumnado leer esta normativa y firmar un escrito donde asegura que tiene conocimiento de la misma y que está dispuesto a su correcto cumplimiento.

En las siguientes líneas se va a destacar las medidas y requisitos de seguridad imprescindibles registrados dentro de la normativa anterior. Sin embargo, es necesario que adicionalmente los alumnos lean toda la información registrada en los links anteriores.

1. Lo más importante de todo es la seguridad integral de las personas. Por lo tanto, el profesor y cada alumno(a) debe ser muy cauto antes de activar el motor de las máquinas y durante su funcionamiento.
2. Es **obligatorio** vestir ropa adecuada que cubra las piernas y partes del cuerpo dónde podrían caer las virutas, que salen despedidas de la pieza a altas temperaturas.
3. Es **obligatorio** calzar zapato cerrado y si es posible zapatos de trabajo, con refuerzo en la punta.
4. Es **obligatorio** vestir bata o mono de trabajo.
5. Es **obligatorio** llevar gafas de protección.
6. En caso de tener el pelo largo, es **obligatorio** tenerlo recogido para evitar que se enrede en cualquier parte de la maquinaria.
7. Se recomienda usar guantes de trabajo universales (de los que tiene una parte textil por arriba y de caucho por debajo, de tal manera que los dedos tengan buena movilidad y se pueda manipular las piezas y herramientas correctamente).

Si se tiene alguna duda dirigirse a al profesor o al técnico del taller.

Definiciones básicas

MECANIZADO

Se denomina ‘mecanizado’ a cualquier proceso que elimine material (Sandvik Coromant., 1994). Se emplea para fabricar piezas desde una pieza en bruto inicial o para realizar el acabado de piezas ya fabricadas por otros métodos. El mecanizado consiste en varios tipos de procesos de remoción de materia: mecanizado por arranque de viruta (que se lleva a cabo con un torno, una fresadora, etc.); procesos abrasivos (que son procesos de rectificado); procesos avanzados de mecanizado (que se realizan por medio de mecanizado químico, electroquímico, por electroerosión, etc.).

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Consiste en dar forma a una pieza en bruto inicial cortándola con una herramienta específica y generando virutas definidas.

MÁQUINA-HERRAMIENTA

Es un tipo de máquina accionada por una fuente de energía eléctrica que se emplea para mecanizar una pieza sólida generalmente de metal. Los tipos más comunes de máquina-herramienta son el torno y la fresadora. Pueden ser manuales, semiautomáticos o automáticos con CNC. Actualmente, las máquinas-herramienta multi-tarea combinan torneado y fresado en una sola máquina.

PIEZA EN BRUTO

Es la pieza de material en bruto de dónde se obtendrá la pieza deseada.

HERRAMIENTA DE CORTE

Es el elemento que entra en contacto directo con la pieza y produce la eliminación del material sobrante de la preforma (Kalpakjian & Schmid, 2002). Se clasifica en función del número de aristas de corte: mono-filo (generalmente para torneado) y multi-filo (generalmente para fresado); y según su constitución: enterizas y de plaquitas. La tendencia actual es a emplear plaquitas, por su fácil intercambiabilidad.

PORTA-HERRAMIENTA

Es la pieza metálica que aloja la herramienta de corte.

FRESADO

Es un proceso de mecanizado en el que se arrancan virutas mediante una herramienta de forma circular con múltiples filos llamada fresa. El movimiento principal de corte es circular y lo realiza la fresa al girar sobre su propio eje. Los movimientos de avance los realiza la pieza que se mecaniza.

TORNEADO

Es un proceso de mecanizado en el que se arrancan virutas mediante una herramienta mono-filo que generalmente permanece estacionaria mientras la pieza rota sobre su eje. El producto del torneado son piezas de revolución.

PLANEADO

Es una operación de fresado que permite mecanizar superficies planas en las piezas para múltiples aplicaciones: superficies de apoyo, juntas estancas, superficies de guías de deslizamiento, etc.

PLATO DE GARRAS

Es un elemento de sujeción que sujeta la pieza a mecanizar a través de la presión ejercida por tres garras. Se localiza en el cabezal giratorio del torno.

PLATO DE ARRASTRE

Es un elemento de sujeción que contiene un perno llamado perno de arrastre y que se localiza en el cabezal giratorio del torno. Sujeta la pieza a mecanizar por medio de un perro de arrastre que se apoya en el perno de arrastre. Para emplear este tipo de plato es necesario situar la pieza entre el punto y el contrapunto del torno. Para ello es imprescindible que la pieza cuente con agujeros cónicos a ambos lados realizados con la broca de puntear.

PERRO DE ARRASTRE

Es un elemento de sujeción que se adapta a la pieza para sujetarla al torno por medio del plato de arrastre.

PUNTO Y CONTRAPUNTO

Son elementos de apoyo de la pieza que se localiza en el cabezal fijo de la máquina-herramienta (punto) y en su cabezal móvil (contrapunto).

TORRETA

Es dónde se sujeta el porta-herramientas. Tiene capacidad de giro de 360º sobre su eje.

CARRO

Es el elemento móvil que contiene la torreta y otros elementos. Es el encargado de realizar los movimientos axial (eje z) y radial (eje x) de la herramienta.

VISOR

Es el elemento que indica la posición actual de la herramienta (axial y radial) relativa a una posición de referencia. Previamente es necesario establecer las referencias en el visor (x = 0 y z = 0). Los valores pueden ser dados en milímetro o en pulgadas (dependiendo de lo que el usuario elija en el visor).

REFRENTADO

Es una operación de torneado que permite la obtención de superficies planas perpendiculares al eje de rotación de la pieza.

CILINDRADO

Es una operación de torneado que permite la obtención de geometrías cilíndricas de revolución. Se aplica tanto a exteriores como a interiores.

TALADRADO

En el torno, es una operación que permite la obtención de agujeros coaxiales con el eje de rotación de la pieza. En la fresadora, es una operación que permite obtener agujeros en la pieza.

RANURADO

En el torno, es una operación que permite la obtención de cajas o ranuras de revolución. En la fresadora, es una operación que permite obtener cajas o ranuras abiertas a ambos lado o a un solo lado. El ranurado conlleva mecanizar tres planos a la vez, lo que la convierte en una operación exigente para la herramienta. Por lo general, se emplea fluido de corte.

ROSCADO

Permite la obtención de roscas para fabricar tornillos (roscado exterior) y tuercas (roscado interior). Requiere el empleo de fluido de corte.

MOLETEADO

Permite el marcado de la superficie cilíndrica de la pieza a fin de facilitar su rotación manual. Requiere el empleo de fluido de corte.

CHAVETERO

Agujero en una pieza que sirve para alojar un elemento de sección rectangular que sirve para transmitir movimiento llamado chaveta.

PIÑÓN

Rueda dentada de un mecanismo de engranaje. Los dientes pueden ser rectos o helicoidales.

PIE DE REY

Instrumento de medición directa lineal empleado para medir longitudes exteriores o interiores. Tienen un elemento graduado fijo y otro móvil llamado nonio. Cuenta además con una sonda para medir profundidades. Este será el uno de los instrumentos de medición más empleado para medir durante las prácticas.

GALGAS DE PASO DE ROSCAS

Es un instrumento de medición por comparación que sirve para verificar el paso de las roscas externas (tornillos) e internas (tuercas). Para utilizarlo, es necesario seleccionar la galga de la rosca que se desea comprobar y situarla sobre la rosca de la pieza. Si ambas roscas coinciden queda verificada la rosca fabricada.

PLANTILLAS DE ÁNGULOS

Son plantillas con algunos fijos que permiten verificar un ángulo determinado. Es este texto, se empleará una plantilla de 60º para posicionar de forma correcta las herramientas de roscado respecto a la superficie a roscar (Capítulo 3 y Capítulo 7).

DESBASTE

Es el conjunto de pasadas que permite eliminar el máximo volumen de material para acercarse a la forma final sin dar importancia a la calidad superficial o a las tolerancias de la pieza. Por lo general, se emplea un desbaste pesado para la limpieza inicial de la pieza en bruto (cuya forma pudiera ser irregular y cuya superficie pudiera estar oxidada). En el desbaste se emplean herramientas robustas.

ACABADO

Es la pasada de precisión que permite obtener la rugosidad (acabado superficial) y las tolerancias (acabado dimensional) exigidas por el cliente. En el acabado, el volumen de metal arrancado es menor que en el desbaste. El acabado ligero se aplica por lo general en las últimas pasadas de cada operación sobre la pieza para obtener las dimensiones finales y el acabado superficial definidos en el plano.

PARÁMETROS DE CORTE

Son los valores de velocidad de corte, profundidad de corte y avance por revolución (en el torno) o avance por diente (en la fresa) que se establecen en la máquina-herramienta según la operación que se desea realizar y la herramienta seleccionada para dicha operación. Por lo general, el fabricante de la herramienta proporciona información para realizar esta selección. Actualmente existen softwares de cálculo proporcionados por los fabricantes que facilitan la selección de la herramienta y sus parámetros de corte.

VELOCIDAD DE CORTE

Es la velocidad lineal en la periferia de la zona de la pieza que se está mecanizando. Es la velocidad a la cual el filo de corte mecaniza la superficie de la pieza. Está definida por la velocidad de giro de la pieza (**n)** y su diámetro (**D**) por medio de la fórmula $Vc = D \cdot \pi \cdot n$. Sus unidades son m/min.

PROFUNDIDAD DE CORTE

Es la medida de lo que la herramienta penetra en la pieza en cada pasada de mecanizado.

AVANCE POR REVOLUCIÓN

En el torno, se define como el desplazamiento de la herramienta durante una vuelta de la pieza. De este valor y del radio de la punta de la herramienta, depende la rugosidad de la pieza (acabado superficial). Sus unidades son mm/r.

AVANCE POR DIENTE

En el fresado, se define como la distancia que recorre la herramienta mientras un diente en concreto está implicado en el corte.

CAPÍTULO 1

La pieza

El torno. Consideraciones importantes

Preparación de la pieza en bruto

Refrentado y Cilindrado

LA PIEZA

En la siguiente figura se presenta el plano de la pieza a mecanizar, con sus medidas y las tolerancias que se deben cumplir.

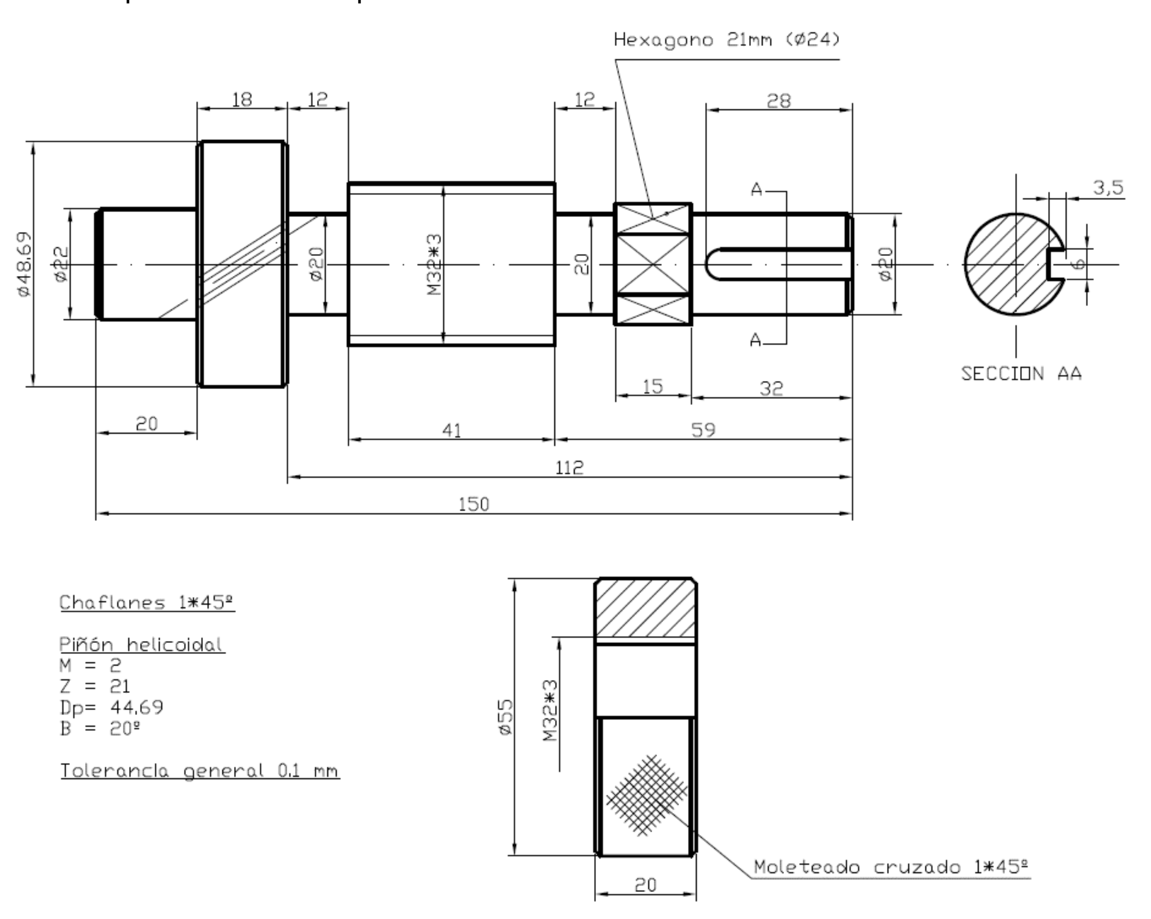


Figura 1. Plano de la pieza a mecanizar.

La pieza mecanizada y las operaciones necesarias para su mecanizado (con indicación de la máquina-herramienta que la ejecuta) se muestran en la Figura 2.

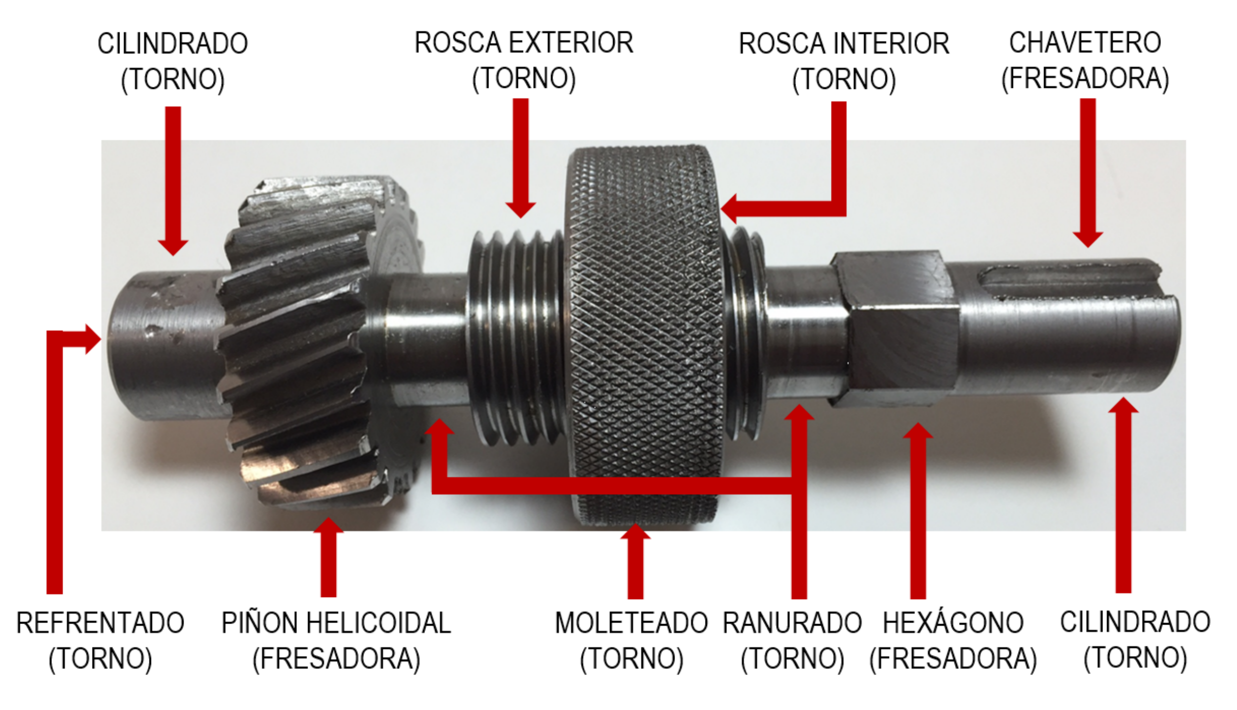


Figura 2. Foto de la pieza mecanizada y las operaciones principales.

EL TORNO

En la foto de la Figura 3 se puede apreciar el torno que empleará el alumnado para mecanizar la pieza con indicación de sus partes.

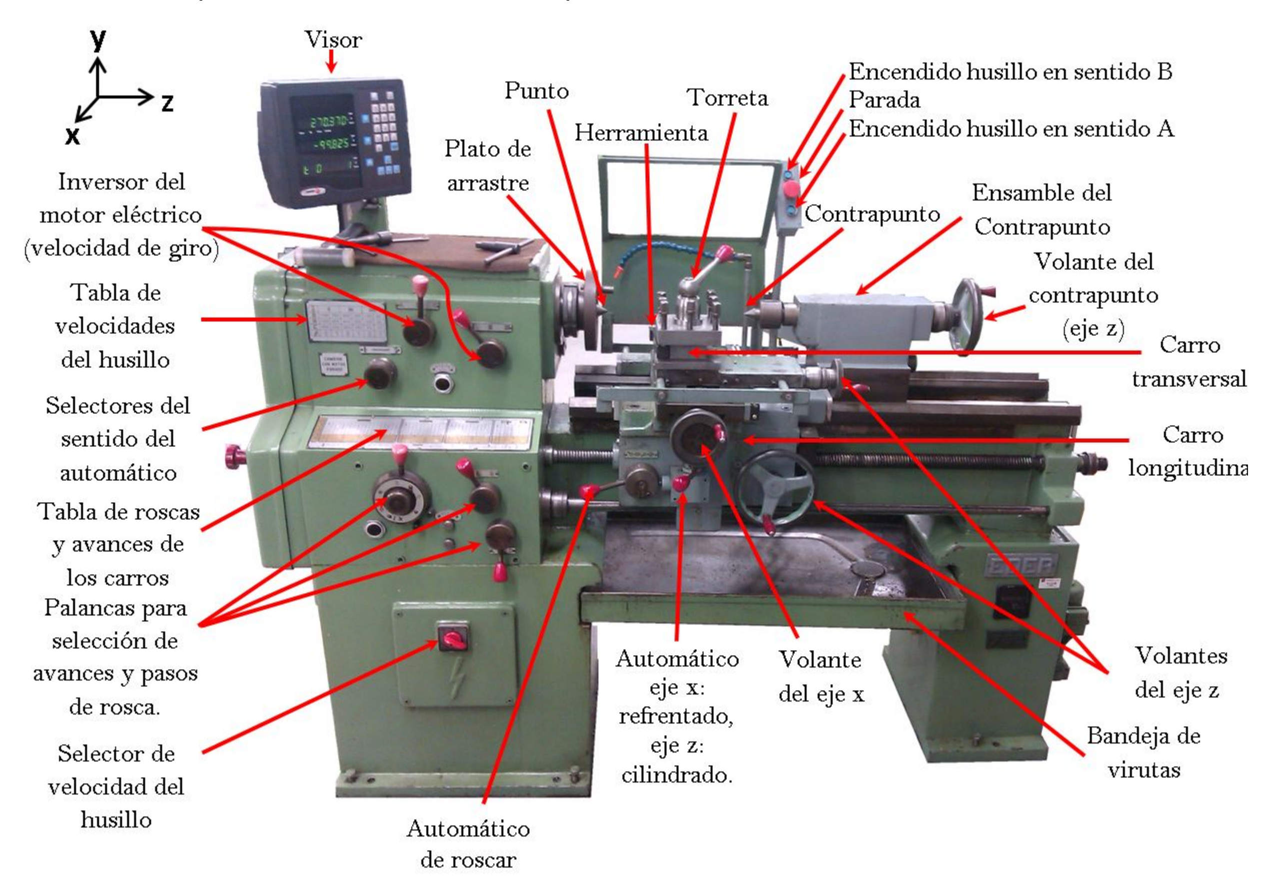


Figura 3. Torno que se utilizará en las prácticas de mecanizado.

Consideraciones importantes

1. Utilice las **gafas de protección** en todo momento. Vista **bata o mono de trabajo**. Utilice siempre la **pantalla protectora** de la máquina-herramienta. No señale con el dedo sobre el torno, podría engancharse el dedo o la ropa en alguna parte del mecanismo. Concéntrese en su puesto de trabajo. No se desplace por el taller a otros puestos de trabajo porque podría distraer al compañero.
2. Mida la pieza en bruto inicial para saber **aproximadamente** cuántos milímetros puede desbastar en longitud y en diámetro. En este texto nos basamos en una pieza en bruto cilíndrica de 50 mm de diámetro por 153 mm de longitud.
3. Verifique las medidas antes de realizar las últimas pasadas de acabado.
4. El husillo que hace rotar la pieza puede girar en sentido horario o en sentido anti horario. El giro de la pieza de trabajo sobre su eje debe ser tal que **el material se dirija hacia la herramienta**. De esta forma se garantiza el mecanizado con el filo de corte y se asegura la estabilidad de la herramienta en su porta-herramienta y de esta en el torno.
5. Antes de activar el funcionamiento el torno deberá asegurarse de que **todo esté bien apretado**. También deberá asegurarse de que, al girar el husillo, ni la pieza ni la herramienta puedan chocar con cualquier obstáculo (plato de garras, perro de arrastre, contrapunto, torreta, carro, etc.). Es recomendable, en primera instancia, hacer de forma manual (sin activar el motor) el simulacro del recorrido que hará la herramienta en la operación. De esta forma podrá asegurarse de que es posible llegar con la herramienta a los puntos extremos y además de que no habrá posibilidad de colisión.
6. Siempre que haga una **aproximación de la herramienta a la pieza**, para marcar o establecer una referencia en el visor, deberá hacerlo **con la pieza en movimiento**.
7. El avance **automático** del torno deberá activarlo y desactivarlo con el torno **en movimiento**.
8. Antes de parar la máquina deberá desactivar el avance automático.
9. **Los cambios de velocidades y el sentido de giro** del husillo deberá hacerlos con el **torno parado**.
10. Verifique el sentido del avance del automático con la herramienta fuera de la pieza.
11. El mando del avance automático tiene tres posiciones: Neutro, Cilindrado y Refrentado. Asegúrese de que deja el mando en la posición deseada.
12. El visor está conectado con el volante del eje ‘z’ (no con el volante del contrapunto ni con el volante del carro).
13. Cada operación se realizará en fases. Deberá **terminar totalmente cada operación antes de pasar a la siguiente operación**.
14. Los tornos del taller son tornos de altísima calidad pero con algunos años ya. Por lo tanto, deberá tener cuidado con las holguras de los volantes. Siempre deberá llegar a la medida deseada girando el volante en el sentido en que se hará el avance.
15. Para mayor robustez en el mecanizado, es necesario que el carro esté alineado con su base.
16. **Se refrentará como máximo 0.5 mm por pasada** (con una velocidad de giro del husillo recomendada de 750 r/min).
17. **Se cilindrará como máximo 1.5 mm por pasada** (con una velocidad de giro del husillo recomendada de 750 r/min).

18. Deje su puesto de trabajo y el torno tal y como lo encontró al principio de cada práctica. Con las gafas de protección puestas, utilice la pistola de aire comprimido para limpiar el torno, teniendo mucho cuidado con las posibles proyecciones de viruta hacia sí mismo o hacia algún compañero.

OPERACIONES INICIALES.

PREPARACIÓN DE LA PIEZA EN BRUTO

Primeramente se preparará la pieza en bruto inicial con las dimensiones adecuadas para poder mecanizar la pieza. La preparación de la pieza en bruto consistirá en asegurar paralelismo entre sus extremos y perpendicularidad con su eje. Es necesario además realizar un desbaste inicial para 'limpiar' la pieza en bruto de partida y así eliminar cualquier tipo de capa de óxido o imperfección superficial. Sólo cuando la pieza en bruto esté preparada y limpia será posible hacer mediciones precisas sobre ella.

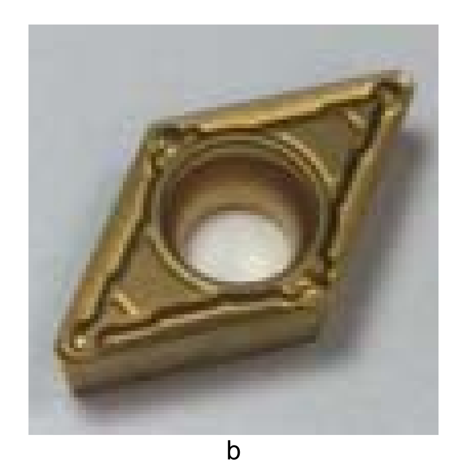
Las operaciones que se realizarán para preparar la pieza en bruto serán:

1. ***Refrentado*,** hasta conseguir la longitud final de la pieza (150 mm).
2. ***Punteado*,** para poder emplear el punto y el contrapunto para sujetar la pieza con el plato de arrastre. De esta forma, al sujetar ambos extremos de la pieza, el mecanizado será más estable.
3. ***Cilindrado*,** hasta conseguir el diámetro más exterior de la pieza (48,69 mm).

Las operaciones de refrentado y cilindrado se realizarán con la misma herramienta. La plaquita y su porta-herramienta se muestran en la Figura 4.



a



b

Figura 4. (a) Herramienta para cilindrar (plaquita en su porta-herramientas). (b) Plaquita.

Inicialmente la pieza en bruto sólo puede ser sujetada por el plato de garras (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**a). Así que es necesario montar el plato de garras en el torno. A continuación se presentan las instrucciones para realizar un cambio de plato en el torno. Además de estas instrucciones, el alumno contará con la demostración del profesor que hará todo el procedimiento de sustitución paso a paso.


a


b

Figura 5. Plato de sujeción en el torno. (a) Plato de garras y (b) plato de arrastre.

1. **Para instalar el plato de garras en el torno**: En ocasiones es necesario quitar el plato de arrastre (Figura 5b) para poder instalar el de garras (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**a). Para ello deberá seguir el siguiente procedimiento para el cambio de platos:

PARA QUITAR UN PLATO:

1.1. Esta operación se realiza siempre con el torno apagado. Si necesita ayuda no dude en llamar al profesor o al técnico del taller.

1.2. Mueva las palancas y perillas para establecer en el torno en una velocidad de giro de husillo baja, de esta forma no girará fácilmente y se podrá utilizar la llave de uña para soltar el plato. Se recomienda usar 62 r/min (es decir: B-III-1, según la tabla de velocidades del husillo de la Figura 6).



	II		III		IIII	
B	1500	750	500	250	125	62
A	1200	600	400	200	100	50
C	900	450	300	150	75	37
50	2	1	2	1	2	1

Figura 6. Tabla de velocidades del husillo del torno de la Figura 3.

1.3. Con la llave de uña y el martillo haga girar la tuerca hasta que ésta se suelte y se pueda girar con la mano. En esta primera fase, preocúpese sólo de sujetar bien la llave de uña (el plato todavía no está suelto del todo).



Figura 7. Uso de la llave de uña para quitar un plato.

1.4. Gire manualmente la tuerca hasta que ésta haga tope con el cabezal del torno.



Figura 8. Giro manual de la tuerca que sujeta el plato.

1.5. Con la llave de uña, poco a poco, haga girar la tuerca contra el cabezal, hasta que ésta termine de empujar el plato hacia afuera. Ahora sí tenga cuidado de sujetar el plato. Tenga en cuenta que el plato de arrastre pesa unos 2 kg y el de garras unos 8 kg. Si necesita ayuda llame al profesor o al técnico.

1.6. Extraiga el plato, sujetándolo hacia arriba y hacia adentro, y desenroscando la tuerca de forma manual.

1.7. Sitúe el plato en la mesa de su puesto de trabajo. Previamente debería de haber habilitado un espacio para tal fin.

PARA INSTALAR UN PLATO

a. Observe dónde está el chavetero del plato y la chaveta del cabezal antes de coger el plato, para poder encajarlo más fácilmente y no ir a tientas.

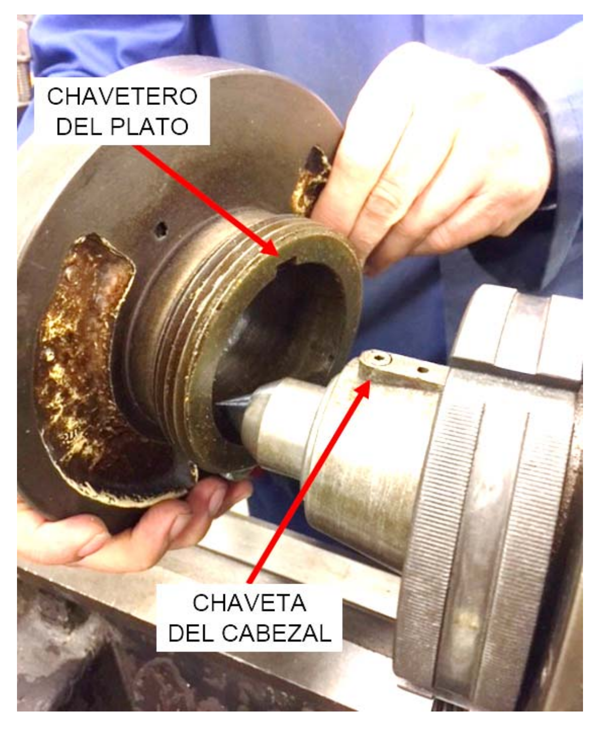


Figura 9. Chaveta del cabezal del torno y chavetero del plato.

b. Encaje el plato, sujetándolo hacia arriba y hacia adentro.

c. Apriete la tuerca con la mano hasta que ya no se pueda roscar más.

d. Con la llave de uña y el martillo termine de apretar la tuerca. **Asegúrese de que la tuerca queda bien apretada**.

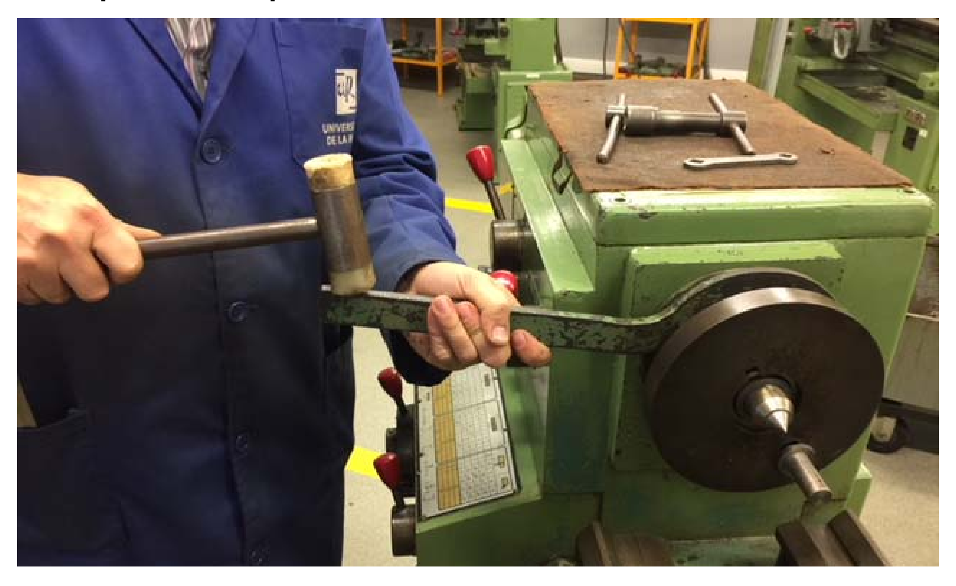


Figura 10. Uso de la llave de uña para apretar el plato.

2. Mida la pieza de forma aproximada con el calibre (decimos de forma aproximada porque hasta que no se mecanice la pieza para asegurar paralelismo en los extremos de la pieza en bruto y perpendicularidad con el eje del cilindro, no se obtendrán medidas

exactas). Con esta medida se podrá saber aproximadamente cuántos milímetros se pueden quitar en longitud y en diámetro.

3. Sujete la pieza con el plato de garras. Sitúe la pieza haciendo tope con el punto (teniendo cuidado de no dañarlo). Apriete las garras, asegurándose de que la pieza está siendo sujetada por las 3 garras del plato.

4. **Desbaste de los extremos de la pieza**

4.1. **Refrente (con pasada máxima de 0.5 mm)** un extremo de la pieza en bruto inicial:

4.1.1. Gire la torreta unos pocos grados (15º aproximadamente) de tal manera que la herramienta quede enfrentada a la cara que va a mecanizar y pueda mecanizarla con el filo de corte y la punta.

4.1.2. Utilice una velocidad de husillo de 750 r/min (B-I-1, según la tabla de velocidades del husillo de la Figura 6).

4.1.3. Verifique el sentido de avance del automático, siempre con la herramienta fuera de la pieza.

4.1.4. En movimiento y en manual, aproxime la herramienta a la pieza y toque ligeramente su cara para establecer la referencia de ‘z’ (con el visor o con volante graduado del eje ‘z’). Establezca z=0 en el visor.

4.1.5. Retire la herramienta de la pieza moviendo el volante del eje ‘x’ (manteniendo el z=0).

4.1.6. Con el volante del eje ‘z’, mueva la herramienta 0.5 mm hacia la pieza.

4.1.7. Accione el mando de avance automático del refrentado y mecanice la pieza hasta su centro. Desactive el avance automático. Trate de no pasarse del centro de la cara porque ya entonces el material iría hacia la herramienta en sentido contrario y la podría estropear.

4.1.8. En manual y usando el volante del eje ‘x’, retire la herramienta de la pieza.

4.2. Extraiga la pieza y mídala para ver cuánto queda aproximadamente para refrentar el otro extremo. Dele la vuelta y sujétela con el plato de garras haciendo tope con el punto (con cuidado de no dañar el punto).

4.3. **Refrente** el otro extremo de la pieza en bruto inicial:

4.3.1. Siga el mismo procedimiento de antes (punto 4) y refrente la cara con una pasada de 0.5 mm (si el largo de la pieza lo permite). Ahora sí que es posible medir exactamente cuántos milímetros faltan para dejar la pieza a la medida que indica el plano: 150 mm.

4.3.2. Saque la pieza y mida.

4.3.3. Continúe refrentando hasta que la pieza tenga una longitud de 151 mm. De esta forma, dejará un par de pasadas para acabar la pieza.

4.3.4. Saque la pieza y mida de nuevo.

5. Acabado para llegar a la longitud final de la pieza

5.1. **Refrente** lo que falta hasta llegar a los 150 mm.

6. **Puntee** un extremo de la pieza:
   6.1. Cambie el contrapunto por un porta-broca.
   6.2. Instale la broca de puntear.
   6.3. Establezca una velocidad de 750 r/min (B-I-1).
   6.4. Avanzando de forma manual, haga un punto de 1.3 mm de profundidad, a partir de la parte inferior del cuello de la punta de la broca (donde comienza la parte cónica). Asegúrese de que el punto mecanizado presenta un cono bien definido. Consulte con el profesor o con el técnico si tiene alguna duda.

7. **Puntee** el otro extremo de la pieza:
   7.1. Extraiga la pieza y dele la vuelta. Sujétela con el plato de garras.
   7.2. Siguiendo el mismo procedimiento planteado en el punto 6, mecanice el punto en este extremo.

8. **Sujete la pieza entre puntos, con el plato de arrastre**:
   8.1. Siguiendo el procedimiento planteado en el paso 1, quite el plato de garras e instale el plato de arrastre.
   8.2. Sujete la pieza con el perro de arrastre, dejando un poco a la vista el extremo de la pieza. De esta forma no se estropeará el borde y además será posible medir con el pie de rey.
   8.3. Instale la pieza entre puntos de tal forma que el extremo más largo del perro toque el perno de plato de arrastre por el lado que haga que el perno empuje el conjunto perro-pieza en el sentido deseado (llevando el material de la pieza hacia la herramienta).
   8.4. **Apriete muy bien el perro de arrastre**.
   8.5. Ajuste el contrapunto de tal manera que al tratar de girar la pieza de forma manual pueda hacerlo pero con cierta dificultad (consultar al profesor o al técnico del taller sobre este aspecto).

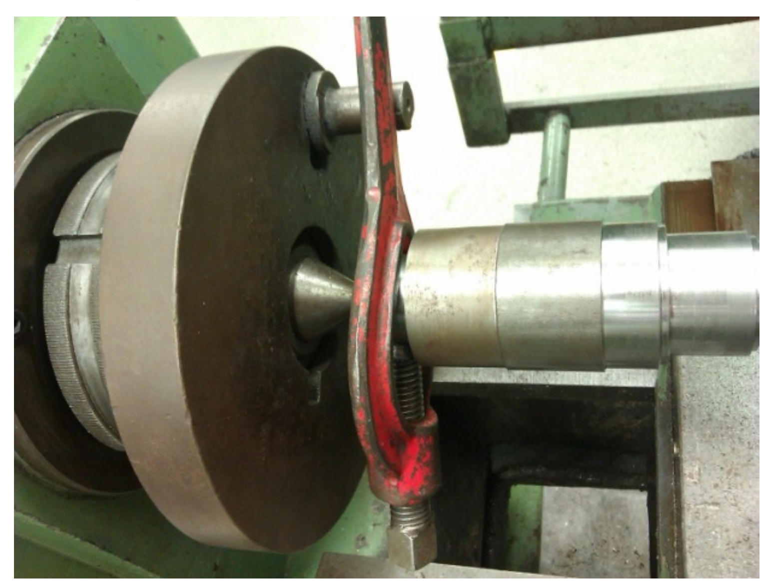


Figura 11. Sujeción de la pieza con plato de arrastre y perro de arrastre.

9. **Cilindre los diferentes diámetros de la pieza (con pasadas máximas de 1.5 mm)**:

Los diferentes diámetros de la pieza se cilindrarán en orden descendente, es decir, de mayor a menor, por un extremo de la pieza y luego por el otro. Es decir, que primero se cilindrarán los diámetros de 48.69 mm y 22 mm. Después se le dará la vuelta a la pieza y se cilindrarán el resto de diámetros: 32 mm, 24 mm y 20 mm. Debido a que la superficie de la pieza en bruto no es uniforme, primero se realizará un desbaste para limpiar la superficie de un trozo de pieza (aproximadamente 45 mm de longitud) para poder medir con exactitud el diámetro. Se mecanizarán los primeros diámetros a una longitud de 45 mm y no en toda la pieza, para tener opción, si se equivoca, de darle la vuelta a la pieza y volver a empezar por el otro lado. Para el cilindrado se dejará la torreta en ángulo recto, de tal manera que el porta-herramienta quede perpendicular el eje de la pieza.

9.1. **Cilindrado del diámetro de 48.69 mm.**

9.1.1. **Desbaste**

9.1.1.1. Ayuda visual: En los tornos sin visor, haga una marca a los 45 mm, ayudándose con el calibre. En los tornos con visor tome la referencia de z=0 en la cara derecha de la pieza y llegue a los 45 mm empleando el visor. Marque la pieza empleando el volante del eje ‘x’.

9.1.1.2. Cilindre una pasada de 0.5 mm:

9.1.1.2.1. Referencia en ‘z’: En movimiento, acerque la herramienta al extremo derecho de la pieza y tóquelo ligeramente. Establezca como referencia en el visor: z=0. Saque la herramienta con el volante del eje ‘x’.

9.1.1.2.2. Referencia en ‘x’: En movimiento, acerque la herramienta a la superficie de la pieza y tóquela ligeramente. Establezca como referencia en el visor: x=0. Saque la herramienta con el volante del eje ‘z’.

9.1.1.2.3. Una vez fuera de la pieza, con el volante del eje ‘x’, establezca una profundidad de corte de 0.5 mm. Accione el mando de avance automático hacia la posición de cilindrado y cilindre la pieza hasta aproximadamente unos 40 mm de longitud. Desactive el avance automático y termine de cilindrar la pieza en avance manual hasta los 45 mm. Saque la herramienta con el volante del eje ‘z’ (sin tocar el volante del eje ‘x’, porque vamos a establecer la nueva referencia –paso ‘9.1.1.2.4–).

9.1.1.2.4. Una vez limpia la superficie ya puede medir con exactitud su diámetro: Mida el diámetro con el pie de rey e introduzca esa medida en el visor como nueva referencia del eje ‘x’ (x=diámetro medido). El objetivo es llegar a los 48.69 mm, primero desbastando hasta 49 mm y luego acabando hasta los 48.69 mm.

9.1.1.2.5. Calcule las pasadas en la operación de cilindrado (de máximo 1.5 mm) para llegar al diámetro de 49 mm.

9.1.1.3. Cilindre en automático hasta llegar a 49 mm de diámetro. Vuelva a medir el diámetro (sin sacar ya la pieza) y rectifique la referencia si hace falta.

9.2. **Acabado del diámetro de 48.69 mm.**

9.2.1. Realice la pasada de acabado que falta para llegar al diámetro de 48.69 mm.

9.3. **Cilindrado del diámetro 22 mm** (en azul en la Figura 12):

9.3.1. **Desbaste**

9.3.1.1. Calcule las pasadas de desbaste (de máximo 1.5 mm) para llegar al diámetro de 22.5 mm. Se elige este valor porque al igual que antes se dejará un margen para finalmente realizar el acabado a 22 mm.

9.3.1.2. Cilindre hasta una longitud en 'z' de 19 mm, con pasadas de máximo 1.5 mm, y hasta un diámetro de 22.5mm.

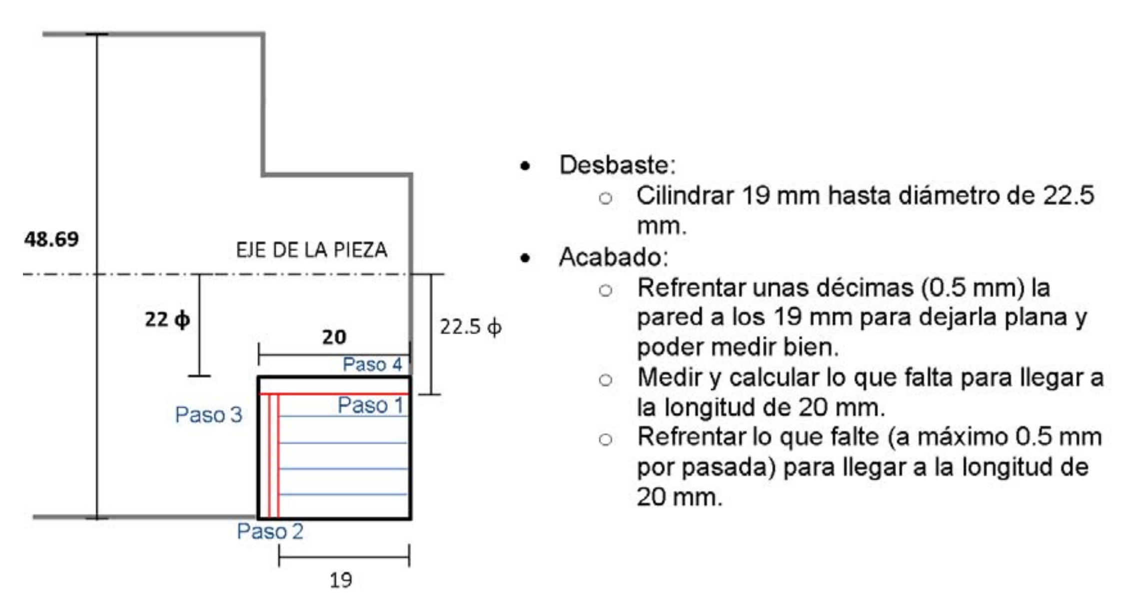


Figura 12. Pasos para cilindrar el diámetro de 22 mm. En azul se han identificado las pasadas de desbaste y en rojo las pasadas de acabado.

9.4. **Acabado del diámetro 22 mm** (en rojo en Figura 12):

9.4.1. Refrente unas décimas (0.5 mm) la pared a los 19 mm para dejarla plana y de esta manera se pueda medir bien la longitud. Mida ayudándose del extremo izquierdo de la pieza y calcule lo que falta para que este diámetro abarque una longitud de 20 mm. La medida desde el extremo izquierdo deberá de ser de 130 mm (150 mm – 20 mm).

9.4.2. Refrente lo que falta (a máximo 0.5 mm por pasada) para llegar a la longitud de 20 mm.

9.4.3. Cilindre lo que falta para llegar al diámetro de 22 mm. Teniendo cuidado de no pasarse de la longitud de 20 mm.

9.5. **Voltee la pieza para cilindrar los demás diámetros**.

9.6. **Cilindre el diámetro de 32 mm**. Siguiendo el procedimiento anterior, se desbastará hasta una longitud de 111 mm y hasta un diámetro de 32.5 mm. Posteriormente se realizará el acabado con refrentados y cilindrados (teniendo como referencia la Figura 12) hasta alcanzar los 112 mm de longitud y los 32 mm de diámetro.

9.7. **Cilindre el diámetro de 24 mm** (para el hexágono) siguiendo el procedimiento anterior.

9.8. **Cilindre el diámetro de 20 mm** (para el chavetero) siguiendo el procedimiento anterior.



Figura 13. Cilindrado del último diámetro de la pieza (diámetro de 20 mm y 32 mm de longitud).

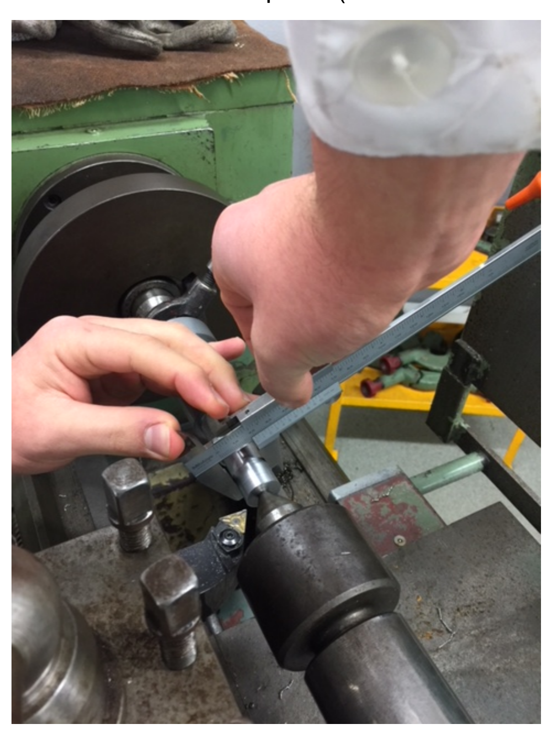


Figura 14. Verificación el diámetro de 20 mm con el pie de rey.

CAPÍTULO 2

Mecanizado de Ranuras

El ranurado es una operación que somete a la herramienta a mayores esfuerzos mecánicos y térmicos que el refrentado o el cilindrado. Además, es más elevado el riesgo de que quede viruta atrapada entre la herramienta y la pieza y se comprometa de esta manera la integridad de la herramienta o el acabado superficial de la pieza. En esta operación se cambiará de herramienta, se empleará refrigerante y se reducirá la velocidad de giro de la pieza. Todo ello para garantizar la integridad de la herramienta y un buen acabado superficial en la pieza.

Para realizar las ranuras debe hacer lo siguiente:

1. Cambie de herramienta por una herramienta de ranurar (Figura 15). Antes de montarla en la torreta, mida el ancho del filo de la herramienta. Dependiendo de este ancho se establecerá el número de pasada y se pondrán las referencias.



a



b

Figura 15. (a) Herramienta de ranurar empleada en las prácticas. (b) Herramienta y plaquita moderna de ranurado.

2. Sitúe la herramienta en ‘y’=0. Para que la herramienta realice bien el corte es necesario que su filo tenga una altura ‘y’ igual a la altura del eje de la pieza. Es decir, es necesario que sitúe la herramienta en ‘y’=0. Para ello, se toma como referencia el contrapunto. El procedimiento será el siguiente: Sin pieza, acerque con cuidado la herramienta al contrapunto (Figura 16), y suba la herramienta con plantillas hasta que el filo de ésta quede a la misma altura que el contrapunto. Si no es posible alinearla exactamente a la altura del contrapunto, es preferible que quede unas milésimas por debajo a que quede unas milésimas por arriba.

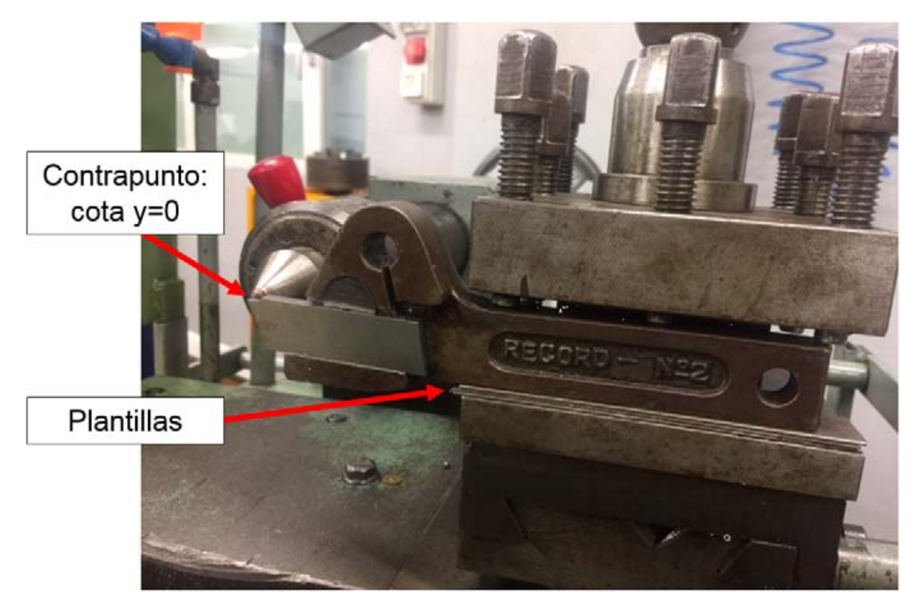


Figura 16. Herramienta de ranurar a la altura del contrapunto.

3. Sitúe la herramienta perpendicular a la superficie que va a mecanizar. Para ello, se tomará como referencia la cara exterior del plato de arrastre. El procedimiento será el siguiente: Acerque la herramienta al plato de arrastre. Sitúe la herramienta de tal forma que su cara lateral sea paralela al plano del plato de arrastre (Figura 17). Mueva la torreta si es necesario para hacer coincidir estos planos.

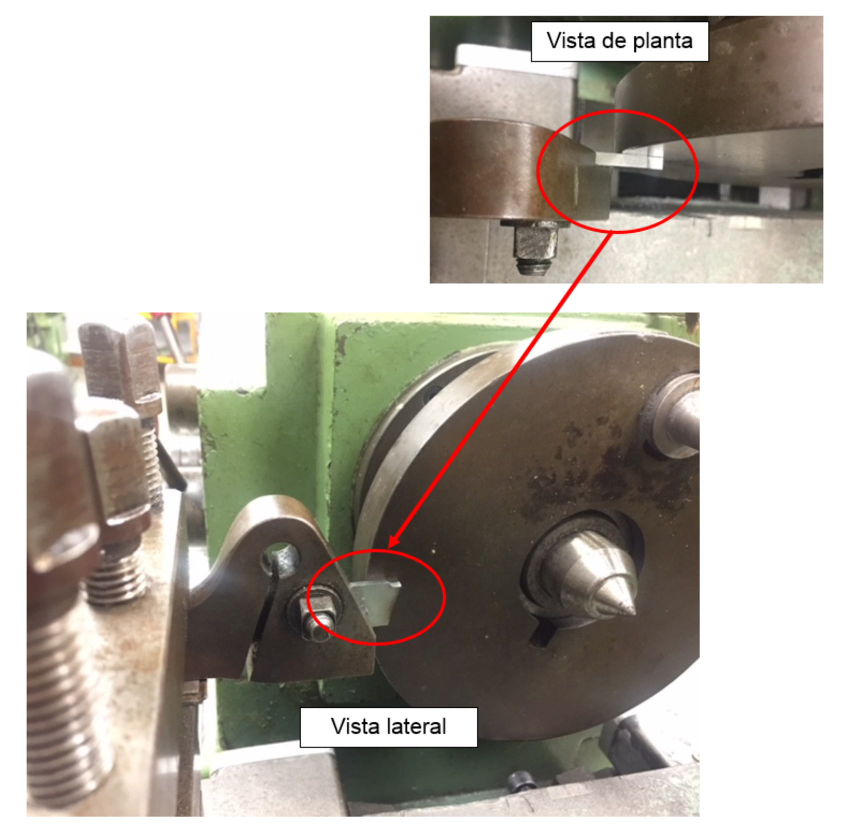


Figura 17. Herramienta de ranurar coplanario con la cara del plato de arrastre.

4. Monte la pieza entre los puntos, con su perro de arrastre (recuerde siempre apretar muy bien el perro de arrastre).

5. El desbaste del ranurado se hará de forma manual, de izquierda a derecha, siguiendo una secuencia que se explicará más adelante. Se dejará 0.2 mm de diámetro para luego hacer el acabado del diámetro para dejarlo a 20 mm (como indica el plano). El acabado del diámetro de la ranura se hará de forma automática, cilindrando de derecha a izquierda.
6. Referencias: Para la referencia en 'z', en movimiento, toque ligeramente con el lateral de la herramienta a la pieza en la pared izquierda de la futura ranura. Establezca en el visor el ancho del filo de la herramienta. Por ejemplo, supongamos que el ancho del filo de la herramienta mide 3,2 mm. Pues ese es el valor que debe establecer como referencia (3.2 mm). De esta forma, cuando se llegue al ancho total de la ranura (12 mm en el visor) se estará tomando en cuenta el ancho de la herramienta.
    a. Para la referencia en 'x', toque ligeramente la pieza en el diámetro que se desea ranurar y establezca como referencia en el visor ese diámetro (previamente medido con el calibre).
    b. Después de las primeras pasadas verifique estas referencias y modifíquelas si es necesario. Esto es necesario debido a que en cada pasada la herramienta está sometida a grandes esfuerzos mecánicos de flexión y por lo tanto va acumulando deformación elástica.
7. Establezca la velocidad de giro de la pieza en 100 r/min (es decir: A-III-2, según la tabla de velocidades del husillo de la Figura 6).
8. Se empleará fluido de corte durante el ranurado para disipar el calor en la zona de corte.
9. Durante las diferentes pasadas, es importante comprobar que las virutas van saliendo apropiadamente de la zona de corte. En esta operación, como se comentó anteriormente, es muy factible que las virutas queden atrapadas y dañen la herramienta o la superficie que se está mecanizando.

10. **Primera ranura: ranura entre el diámetro de 48.69 mm y 32 mm**
    a. **Pasadas de desbaste**
        i. Las pasadas de desbaste se harán manualmente a una velocidad de avance baja. Para la ranura de mayor profundidad (donde se debe mecanizar 12 mm de profundidad, para dejar la ranura con 20 mm de diámetro, vea la Figura 18), en la primera pasada se mecanizará la mitad, es decir 6 mm (que equivale a un diámetro de 26 mm). Esto se hará de esta manera para evitar esfuerzos y calor excesivos de corte, debido principalmente a que la herramienta durante esta primera pasada está mecanizando entre tres planos.
        ii. Para que se solapen las pasadas, y siguiendo con el ejemplo de que tenemos una herramienta de 3.2 mm, la segunda pasada se hará a 3 mm en 'z' de la primera (es decir, en el visor aparecerá 6.2 en 'z'). En cuanto a la profundidad, se dejarán 0.2 mm (es decir, se llegará a un diámetro de 20.2 mm), para después verificar lo que falte. La tercera pasada será para terminar la primera pasada de ranurado, hasta el diámetro de 20.2 mm. Después se hará la cuarta pasada a z=9.2mm.
    b. **Pasada de acabado**: Mida el largo de la ranura para verificar lo que falta para llegar a los 12 mm de longitud. Desplace la herramienta lo que haga falta para realizar la 5ª y última pasada. En esta última pasada (la 5ª de la Figura 18) llegue al diámetro final de 20 mm y al llegar a ese diámetro realice un cilindrado empleando el avance automático en 'z', para así dejar uniforme la superficie del

diámetro de la ranura. Es importante que desactive el avance automático a unos 5 mm del final y realice estos últimos milímetros de forma manual.

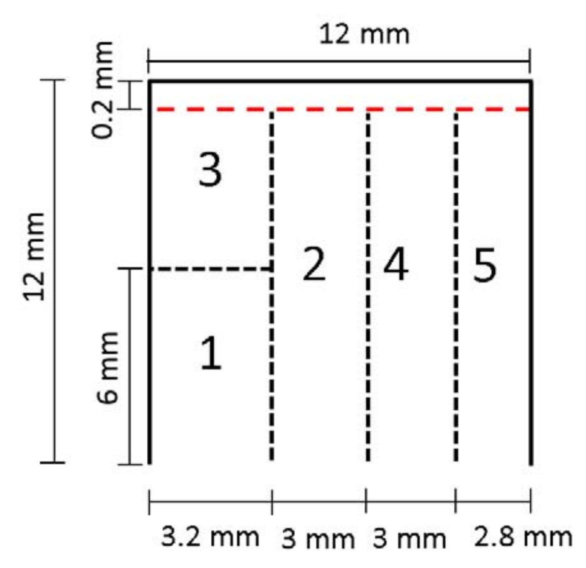


Figura 18. Secuencia para el ranurado de la ranura de 12 x 12 mm, suponiendo que la herramienta tiene un ancho de 3.2 mm.

11. **Segunda ranura: ranura entre el diámetro de 32 mm y 24 mm**

    a. Esta ranura es de menor profundidad ya que sólo debe mecanizar 4 mm de profundidad para dejar la ranura a 20 mm de diámetro. Se seguirá el mismo procedimiento que antes, pero al ser una ranura de una profundidad menor, la primera pasada de desbaste se hará hasta el diámetro de 20.2 mm, dejando 0.2 mm para el acabado en automático.



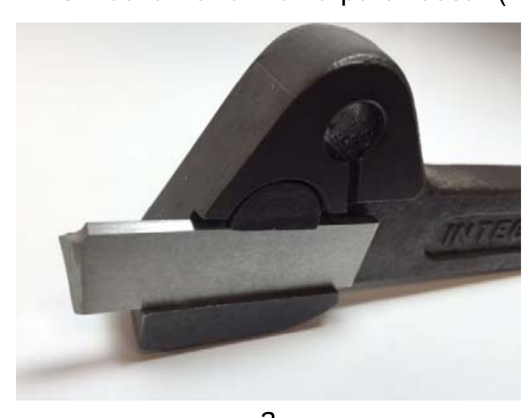
Figura 19. Ranurado de la segunda ranura de la pieza.

CAPÍTULO 3

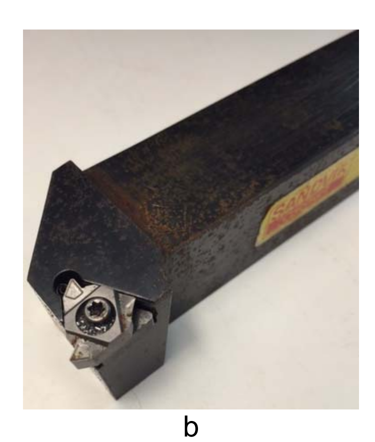
Mecanizado de la Rosca Exterior

El procedimiento para mecanizar una rosca de métrica 32 y paso 3 (M32 x 3) (es decir, de diámetro exterior igual 32 mm y distancia entre filetes igual a 3 mm), es el siguiente:

1. Utilice la herramienta para roscar (Figura 20).



a



b

Figura 20. (a) Herramienta de roscado exterior empleada en las prácticas. (b) Herramienta y plaquita moderna de roscado exterior.

2. Sitúe la herramienta en ‘y’=0: Para que la herramienta realice bien el mecanizado de la rosca debe de estar a la altura del eje de la pieza. Para ello, sin pieza, acerque con cuidado la herramienta al contrapunto y suba la herramienta con plantillas hasta que su filo quede a la misma altura del contrapunto.
3. Sitúe la herramienta perpendicular a la superficie que va a mecanizar: Para ello, sitúe la pieza entre puntos y con ayuda de la plantilla de roscar de 60º (Figura 21) puesta sobre el diámetro de 32 mm, haga coincidir la abertura de 60º con el filo de la herramienta.

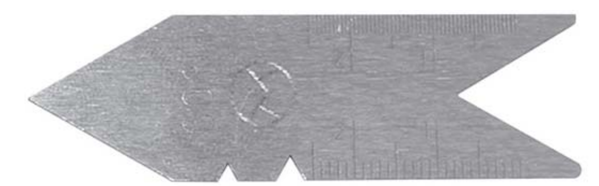
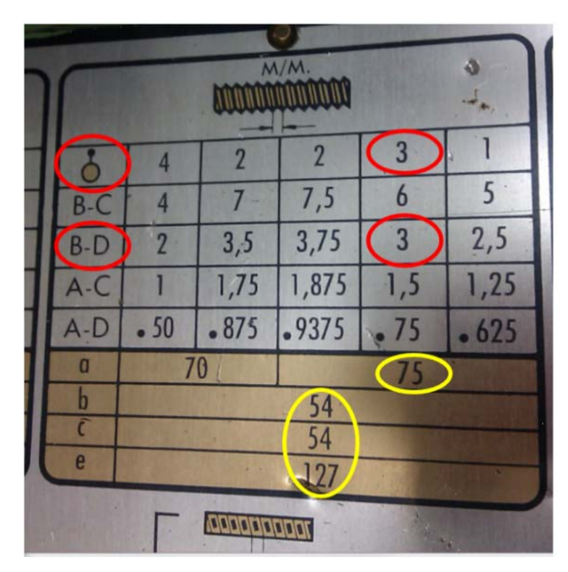


Figura 21. Plantilla de roscar de 60º.



Figura 22. Posicionamiento de la herramienta de roscado exterior con ayuda de la plantilla de 60º.

4. Referencia de 'x': En movimiento, toque ligeramente la pieza con la herramienta de roscar y establezca en el visor x = 0.
5. Posicione las palancas de roscar: En la **tabla de roscas de la máquina** que sigue el **Sistema Internacional,** titulada: **M/M** (Figura 23) (la otra se refiere al Sistema Anglosajón), encontramos cómo situar las palancas de roscar: palanca "1-2-3-4", palanca "AB" y palanca "CD", localizadas en la parte inferior izquierda del torno (Figura 24).



M/M.

	4	2	2	3	1
B-C	4	7	7,5	6	5
B-D	2	3,5	3,75	3	2,5
A-C	1	1,75	1,875	1,5	1,25
A-D	.50	.875	.9375	.75	.625
a	70			75	
b			54		
c			54		
e			127		

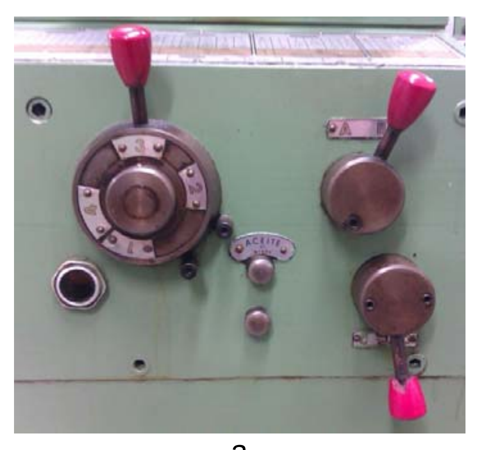
Figura 23. Tabla de roscas M/M, resaltando cómo situar las palancas para roscado con paso de 3 mm y 60º. En rojo se resalta el paso de 3 mm y la posición de las palancas. En amarillo se resaltan los piñones que deben de ponerse en la máquina-herramienta.

La palanca principal debe estar en el número 3.

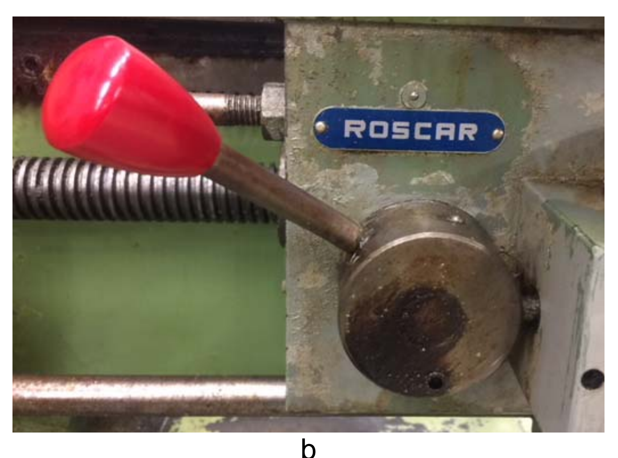
La palanca "AB" debe estar en B

La palanca "CD" debe estar en D

En parado, accione el mando de avance automático de roscar y déjelo en esa posición hasta que toda la rosca esté mecanizada y verificada por el técnico o el profesor.



a



b

Figura 24. (a) Posición de las palancas para roscado con paso de 3 mm y 60º (según tabla M/M). (b) mando de avance automático de roscar.

Los piñones necesarios (resaltados con círculos amarillos en la Figura 23) para llevar a cabo el roscado estarán ya puestos en la máquina: a: 75, b: 54, c: 54 y e: 127.

6. La velocidad para roscar será inicialmente de **62 r/min**. Y luego para el acabado de la rosca se bajará a **50 r/min**.
7. Se empleará **fluido de corte** durante el roscado para disipar el calor en la zona de corte.
8. Cálculo de la profundidad de los filetes (para saber la profundidad total al mecanizar):

   Según las características de la rosca, M32 x 3, su profundidad en radio será de:

   $$ap_r = 3 \times \text{constante}$$

   La 'constante' es un valor tabulado (Casillas, 2009) para este tipo de métrica y paso y es igual a 0.6495:

   $$ap_r = 3 \times 0.6495 \rightarrow ap_r = 1.9485 \text{ mm (en radio)}$$

   Lo que en diámetro será:

   $$\mathbf{2 \times ap_r = ap_d = 3.9\ mm} \text{ (en diámetro)}$$

9. Esta profundidad se alcanzará en varias pasadas siguiendo una 'penetración por flanco modificada' o 'penetración oblicua'.

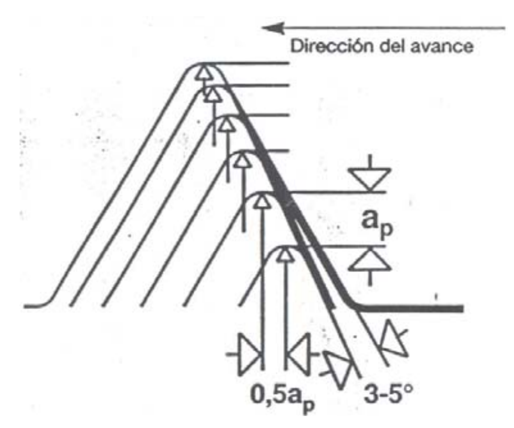


Figura 25. Penetración por flanco modificada.

Las profundidades de corte radiales y axiales serán como sigue:

NOTA: Antes de empezar, asegúrese de que el automático tiene el sentido correcto. También, es recomendable que haga una primera pasada de prueba de unos 0.1 mm de profundidad en ‘x’ para marcar ligeramente la pieza y poder verificar el paso. De esta manera comprobará haber posicionado de forma correcta las palancas de la máquina para el roscado.

a) Desde 0 a 2.4 mm mecanice con una profundidad de corte de 0.3 mm en el eje ‘x’ y 0.1 mm en el eje ‘z’.

   Es importante que haga **pasadas en vacío**. Esto se hace volviendo a mecanizar la misma profundidad de corte en el eje ‘x’, sin variar el eje ‘z’. De esta forma se mecanizará cualquier residuo que haya podido quedar por acumulación de la deflexión de la herramienta. La pauta puede ser: cada dos pasadas, haga 2 o 3 pasadas en vacío (hasta que ya no salga viruta).

b) Desde 2.4 a 3.4 mm mecanice con una profundidad de corte de 0.2 mm en el eje ‘x’ y 0.05 mm en el eje ‘z’. Como antes, es importante que haga **pasadas en vacío**.

c) Desde 3.4 a 3.9 mm baje la velocidad de rotación del husillo a 50 r/min y mecanice con una profundidad de corte de 0.1 mm en el eje ‘x’ y 0 mm en el eje ‘z’. Como antes, es importante que haga **pasadas en vacío**.

d) Y las últimas pasadas, se acabará la rosca mecanizando con una profundidad de corte de 0.05 mm en el eje ‘x’ y 0 mm en el eje ‘z’. Es muy importante que haga **pasadas en vacío.**



Figura 26. Mecanizado de la rosca exterior.

CAPÍTULO 4

Mecanizado del Piñón Helicoidal

Este mecanizado del piñón helicoidal se llevará a cabo en la fresadora (Figura 27) sobre el diámetro de 48.69 mm.

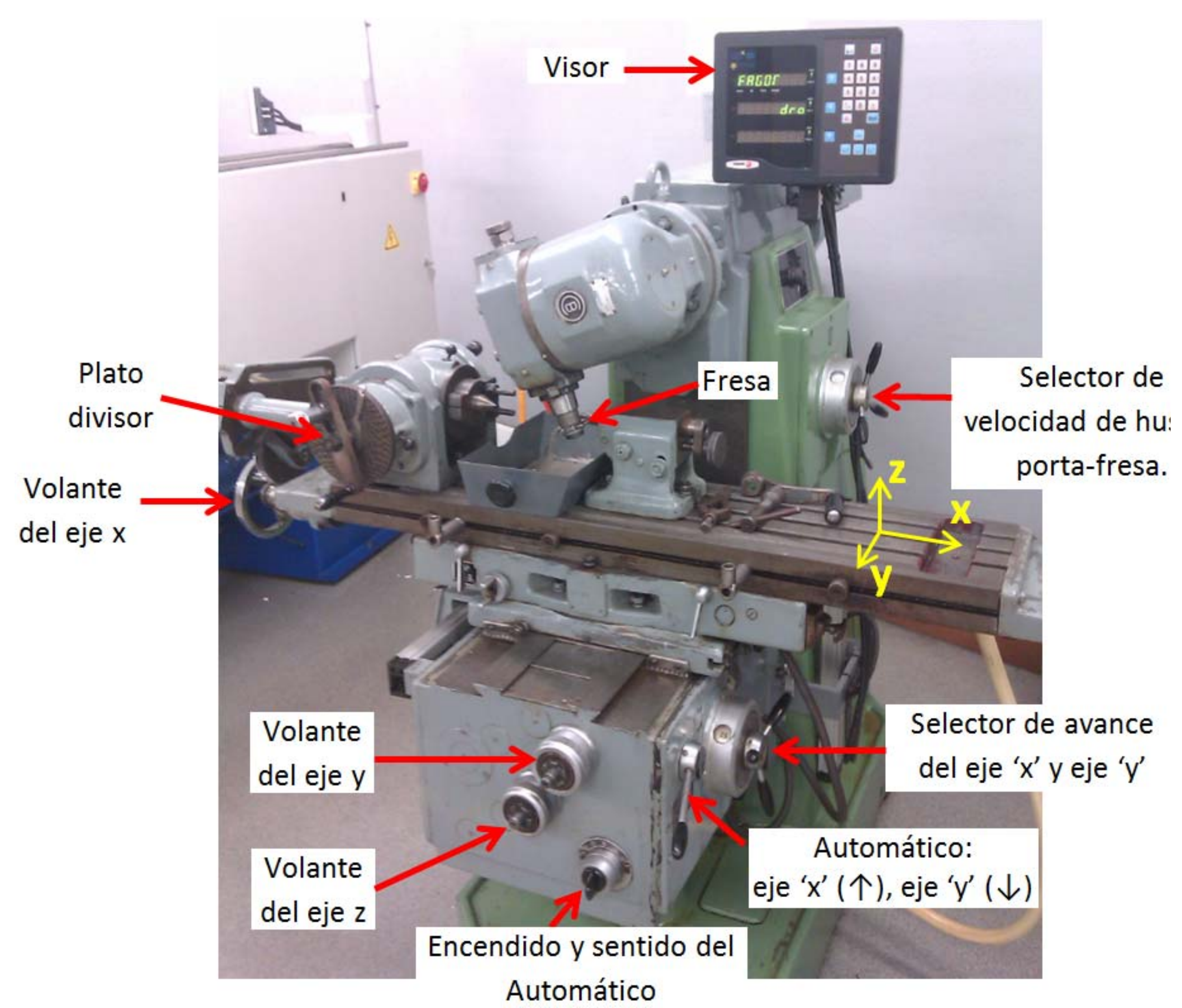


Figura 27. Máquina-herramienta fresadora del taller de fabricación para el mecanizado del piñón helicoidal.

El piñón helicoidal será el resultado de mecanizar la pieza mientras ésta realiza dos movimientos combinados: el movimiento lineal de avance de la mesa (de derecha a izquierda) y el movimiento de rotación del punto de sujeción de la pieza (cabezal del punto). La combinación de estos dos movimientos describe una hélice de paso P.

Los datos establecidos en el plano para mecanizar el piñón helicoidal son los siguientes:

- M = 2 mm (Módulo)
- Z = 21 dientes (Número de dientes)
- Dp= 44,69 mm (Diámetro primitivo)
- B = 20º (Ángulo de inclinación de los dientes)
- Hélice a izquierdas.

CÁLCULOS PREVIOS

A) Selección de la fresa:

1. Módulo de la fresa: M=2.
2. Número de fresa:

   Si el piñón fuera de dientes rectos (no helicoidal), iríamos a la Tabla 1 (Casillas, 2009) y seleccionaríamos el número de fresa según el número de dientes. En este caso se tiene z=21 dientes, y según la tabla deberíamos seleccionar la fresa número 4 (módulo <9, 21 a 25 dientes).

Tabla 1. Números de fresas según módulo y número de dientes. Tomada de Casillas, 2009.

Nº de fresa	Cantidad de dientes de la rueda		
	Numero de fresa. Módulo		
	8 Módulos ≤ 9	15 Módulos >	26 Módulos > 20
1.00	12 y 13	12	5
1.50	---------	13	13
2.00	14 a 16	14	14
2.25	---------	---------	15
2.50	---------	15 y 16	16
3.00	17 a 20	17 y 18	17
3.25	---------		
3.50	---------		
4.00	21 a 25		
4.50	---------		
5.00	25 a 26		
5.50	---------		
6.00	35 a 54		
6.50	---------		
7.00	55 a 134		
8.00	135 a -		

Sin embrago, el piñón que necesitamos mecanizar no es recto sino helicoidal y por lo tanto se debe calcular un número de dientes equivalentes con la siguiente fórmula: $z' = z/[\text{Cos}(B)]^3$, e ir de nuevo a la Tabla 1 para conocer el número de fresa adecuado.

Aplicando la fórmula se tiene que z'=25. Por tanto, en este caso, el número de fresa ha coincidido con el anterior: 4.

En la Figura 28 se muestra la fresa, ya montada en la fresadora, que se empleará para mecanizar el piñón helicoidal. Como se puede ver en la figura, el fresado que se emplea en este caso es el 'fresado cilíndrico', donde el eje del husillo de la fresa es paralelo a la superficie de trabajo.



Figura 28. Fresa módulo 2, número 4 empleada en las prácticas.

B) Relación de engranajes a colocar en la guitarra:

El número de dientes de los piñones que serán colocados en la guitarra de la fresadora se calcula en base al paso del husillo (ph) y al paso del plato divisor (k), ambos valores constantes. Otro factor que interviene es el paso del piñón (P), específico para cada piñón. Por tanto se tiene la siguiente relación:

$$\frac{k \cdot ph}{P} = \frac{40 \cdot 5}{385} = \frac{200}{385}, \qquad \text{donde } P = \frac{\pi \cdot Dp}{tg(B)} = \frac{3.14 \cdot 44.69}{tg(20º)} = 385$$

Esta relación (200/385) se debe descomponer en cuatro factores que corresponderán con los números de dientes de los piñones que se colocarán en la guitarra de la fresadora. Estos factores deben coincidir con los piñones disponibles: 24, 28, 31, 32, 35, 40, 42, 44, 45, 48, 50, 56, 64, 72, 86, 96 y 100. Por lo tanto, la relación quedaría como sigue:

$$\frac{A \cdot C}{B \cdot D} = \frac{40 \cdot 5}{77 \cdot 5} = \frac{8 \cdot 5}{11 \cdot 7} = \frac{40 \cdot 32}{44 \cdot 56}$$

Sin embargo, geométricamente no es posible colocar estos piñones en la guitarra de la fresadora. Por tanto, se necesita un piñón intermedio (Figura 29 y Figura 30) que al colocarlo en el mismo eje que el piñón accionado (z=44), sólo transmita el movimiento al piñón siguiente (al de z=46).

Los piñones se situarían de la siguiente forma:

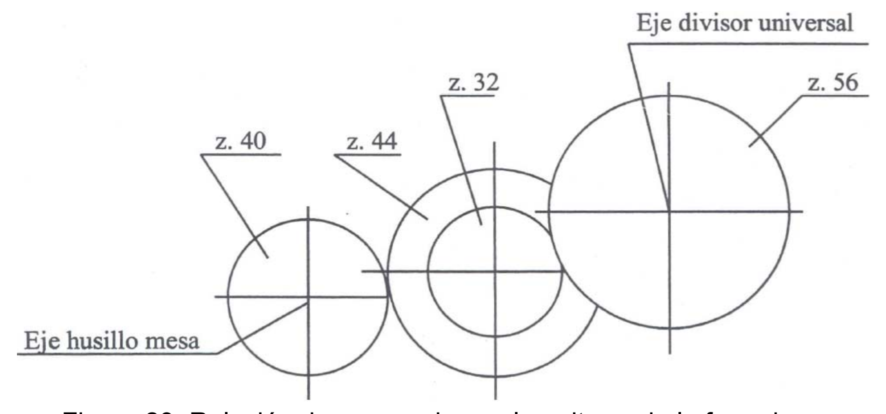


Figura 29. Relación de engranajes en la guitarra de la fresadora.

Un número par de piñones daría como resultado un piñón helicoidal a derechas y un número impar daría como resultado un piñón helicoidal a izquierdas. Por tanto, al agregar el piñón intermedio, el número total de piñones es 5, impar, lo que dará como resultado el piñón a izquierdas requerido en el plano.

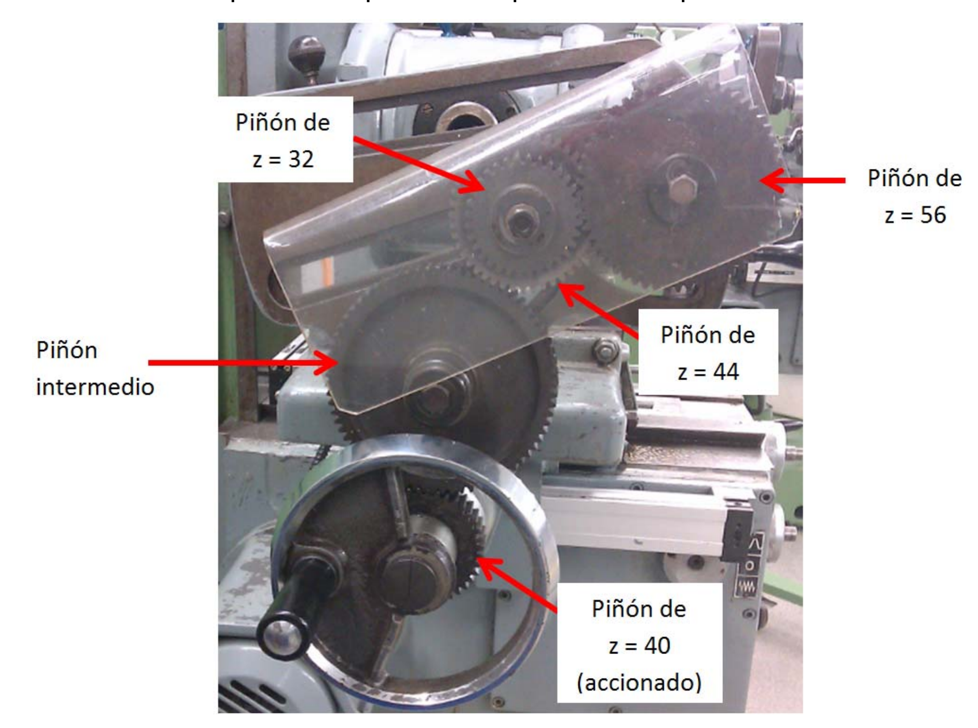


Figura 30. Engranajes en la guitarra de la fresadora.

C) Profundidad a mecanizar:

En la Figura 31 se muestra la nomenclatura que se emplea para definir un piñón.

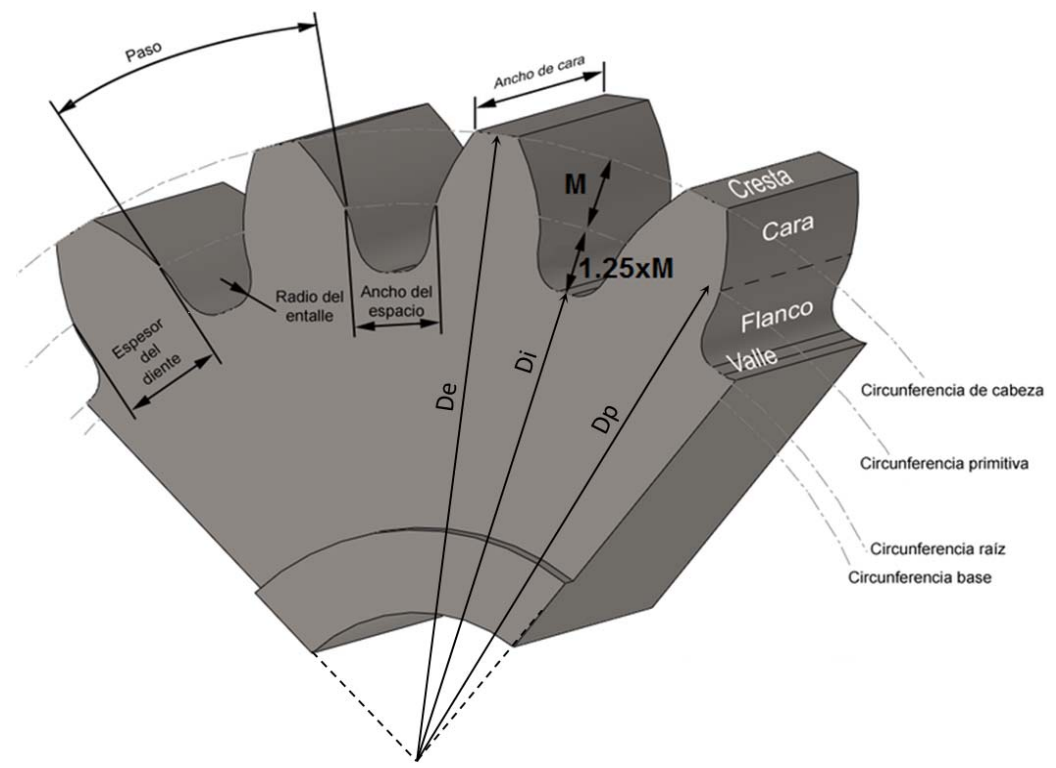


Figura 31. Nomenclatura del piñón. De: diámetro exterior; Dp: diámetro primitivo; Di: diámetro interior. Gráfico basado en la figura de https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje.

Por tanto, la profundidad a mecanizar vendría dada por: 2.25 x M = **4.5 mm**

Esta profundidad será mecanizada en una sola pasada.

D) Elección del tipo de fresado:

Aunque para la mayoría de operaciones el fresado recomendado es el fresado en concordancia, en este caso el adecuado es el **fresado en oposición**. En este tipo de fresado el crecimiento del espesor de viruta es progresivo, es decir, el diente de la fresa en contacto con la pieza comienza cortando un espesor de viruta cero y éste se va incrementando hasta el espesor máximo al final del corte. Los impactos son menos bruscos y se producen menos vibraciones. Esto asegurará la integridad tanto de la herramienta como de la máquina-herramienta en el caso del mecanizado del piñón helicoidal.

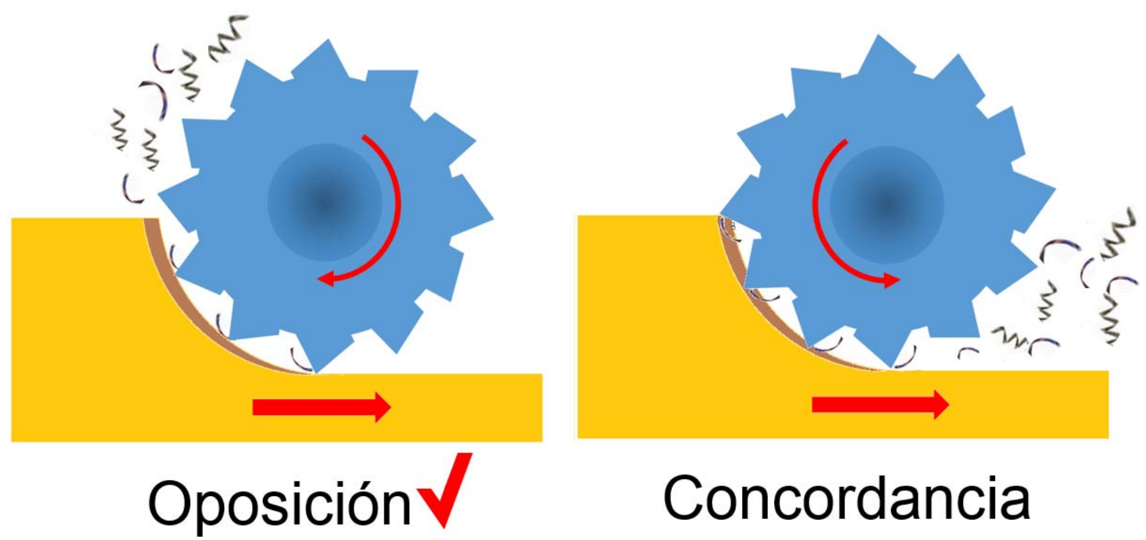


Figura 32. Esquemas del fresado en oposición y en concordancia. Para el mecanizado del piñón helicoidal el fresado adecuado es el fresado en oposición.

E) Número de vueltas en el plato divisor:

Para conocer cuántas vueltas se deben dar al plato divisor para poder mecanizar cada diente del piñón, se divide el paso del plato divisor (*k*) por el número de dientes del piñón (*z*) y se descompone:

$$k/z = 40/21 = \mathbf{1+19/21}$$

Lo que significa que debe dar 1 vuelta y 19/21 de vuelta, con el selector posicionado en el nivel identificado con el número **21 (**Figura 33**)**. El número del nivel indica el número de agujeros en ese nivel. Es decir, el nivel **21** tiene **21** agujeros. Entonces, se debería dar una vuelta completa, y a partir de ese punto girar hasta contar 19 agujeros, en el mismo nivel 21.

NOTA: Las vueltas deben ser siempre en **sentido horario**. Es muy importante que el punzón del selector esté metido en un agujero antes de comenzar el mecanizado. Asegúrese de que el punzón está bien metido en el agujero.

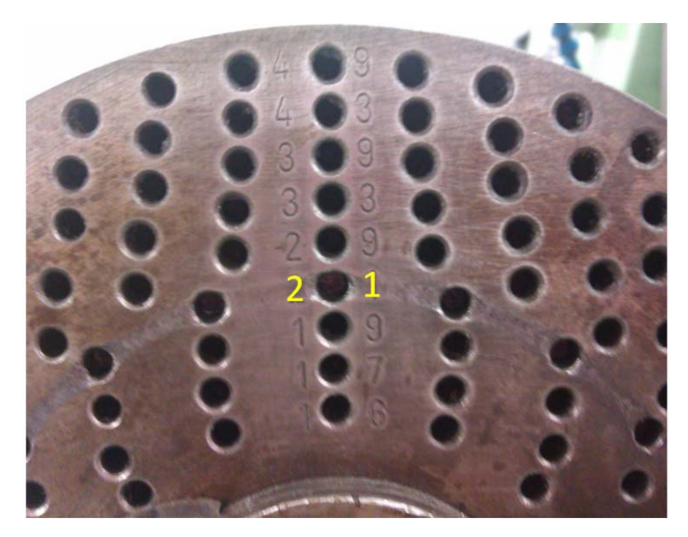


Figura 33. Numeración en el plato divisor.

Como ayuda para determinar los giros exactos del plato divisor, contamos con el 'compas' (Figura 34).

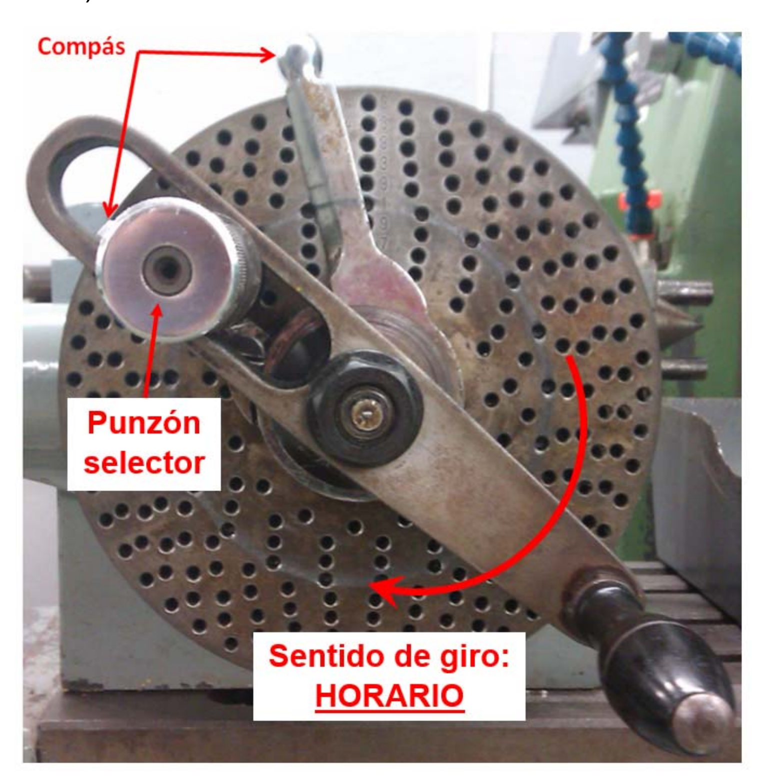


Figura 34. Compás del plato divisor.

Normalmente se abriría el compás de tal forma que en su interior se contaran 19 agujeros en el nivel 21, pero esto es físicamente imposible con este compás. Así que lo que se hace es la resta de 19 a 21 y abrirlo de tal forma que en su interior se cuenten 3 agujeros. Esto sería equivalente al primer planteamiento.

NOTA: El compás siempre se trabaja por la zona de los chaflanes. **Antes de mecanizar el diente, debe recordar mover el compás a la posición inicial para la siguiente cuenta**.

PROCEDIMIENTO PARA MECANIZAR EL PIÑÓN HELICOIDAL

Para el mecanizado del piñón helicoidal emplee en todo momento fluido de corte en el punto de corte (Figura 35).



Figura 35. Mecanizado del piñón helicoidal.

Sujeción de la pieza:

1. Sujete la pieza por ambos extremos entre el plato y el contrapunto. En algunas de las fresadoras del taller se contará con el plato de arrastre y en otras con el plato de garras. En ambos casos, el contrapunto deberá estar bien apretado.
    a. En el caso de contar con plato de arrastre, el perro de arrastre que se emplea es más ancho de lo normal, para poder situarlo entre los dos tornillos del plato de arrastre. Sitúe éste perro entre los dos tornillos del plato de arrastre y apriételos bien. El perro de arrastre debe de estar bien apretado.
    b. En el caso de contar con el plato de garras, asegúrese de que la pieza está bien sujeta con las tres garras, y no sólo con dos.

Alinee la fresa y tome las referencias:

1. Sitúe la fresa en ‘y’=0: Para ello, acerque la fresa a un lateral del diámetro a mecanizar y a una altura (‘z’) aproximada a la altura del eje de la pieza. Toque la pieza con la fresa en movimiento. Esa será la referencia en ‘y’. Establezca en el visor: ‘y’=0. No mueva el volante del eje ‘y’, ya que esta posición servirá para establecer la referencia en ‘z’.
2. Sitúe la fresa en ‘z’=0: Donde la fresa ha tocado previamente (‘y’=0), mecanice un pequeño plano, moviendo la fresa de forma manual hacia arriba y hacia abajo (en ‘z’). Desactive el movimiento de la fresa. Con el volante del eje ‘z’, acerque un diente de la fresa de tal forma que éste quede en el centro del plano que se ha mecanizado. Esa sería la referencia en ‘z’. Establezca en el visor ‘z’=0.

Mecanizado del piñón helicoidal:

1. Meta el punzón del selector en un agujero del plato divisor y mueva el compás a la posición inicial. Asegúrese de que el punzón entra bien en el agujero.
2. El mecanizado de cada diente se hará sobre la pieza partiendo del lateral derecho y llegando lateral izquierdo. Por tanto la mesa se moverá de izquierda a derecha. Para ello, asegúrese que el automático del eje 'x' tenga este sentido.
3. Desplace manualmente la fresa a la derecha de la pieza hasta una posición adecuada para comenzar el mecanizado (tenga cuidado de no mecanizar el contrapunto).
4. Sin tocar la pieza, desplace la mesa el valor total en 'y' a mecanizar: 4.5 mm, que es la profundidad total del diente del piñón a mecanizar (este valor se obtuvo en la sección 'Cálculos previos'- C.).
5. Active el motor de la fresadora, llevando la perilla hasta la posición que garantiza el sentido adecuado del avance automático. Esto hará que se ponga en marcha la bomba del fluido de corte. Dirija la salida del fluido de tal forma que éste caiga sobre la zona de corte.
6. Active el avance automático en '**x**', llevando el mando del avance automático hacia **arriba** (Figura 27).
7. Espere a que se mecanice el diente. Para evitar que la mesa se siga moviendo más allá de lo necesario, el personal del taller ha incorporado unos topes que detienen el automático. De esta manera se evita que otras partes de la pieza o incluso algún elemento de la fresadora se mecanicen.
8. Sin parar el motor de la fresadora, sitúe el mando del avance automático en el neutro (en el centro).
9. Sin parar el motor la fresadora, y de forma manual, con el volante del eje 'x', regrese a la posición inicial en 'x'. La fresa volverá a la posición inicial pasando por el diente ya mecanizado.
10. Realice los giros correspondientes en el plato divisor (girar el volante 1 vuelta completa y 19 agujeros más, con ayuda del compás). NOTA: Recuerde mover el compás a la posición adecuada para la siguiente cuenta. No es necesario parar el motor de la fresadora.
11. Realice el mecanizado del diente siguiendo los pasos del 7 al 10.
12. Repita los pasos 11 y 12, hasta que se hayan mecanizado los 21 dientes del piñón.

CAPÍTULO 5

Mecanizado del hexágono

El hexágono se mecanizará empleando la fresadora (Figura 27), sobre el diámetro de 24 mm, realizando planeados sucesivos hasta completar los seis lados. Para la distribución simétrica de los lados se empleará el plato divisor. Según el plano, la distancia entre las caras del hexágono debe ser de 21 mm. El mecanizado de cada cara del hexágono se hará empleando el automático del eje 'y' para garantizar un mejor acabado superficial.

Para mecaniza el hexágono debe hacer lo siguiente:

Sujeción de la pieza:

1. Sujete la pieza por ambos extremos entre el plato y el contrapunto. En algunas de las fresadoras del taller se contará con el plato de arrastre y en otras con el plato de garras. En ambos casos, el contrapunto deberá estar bien apretado.
    a. En el caso de contar con plato de arrastre, el perro de arrastre que se emplea es más ancho de lo normal, para poder situarlo entre los dos tornillos del plato de arrastre. Sitúe éste perro entre los dos tornillos del plato de arrastre y apriételos bien. El perro de arrastre debe de estar bien apretado.
    b. En el caso de contar con el plato de garras, asegúrese de que la pieza está bien sujeta con las tres garras, y no sólo con dos.
    c.

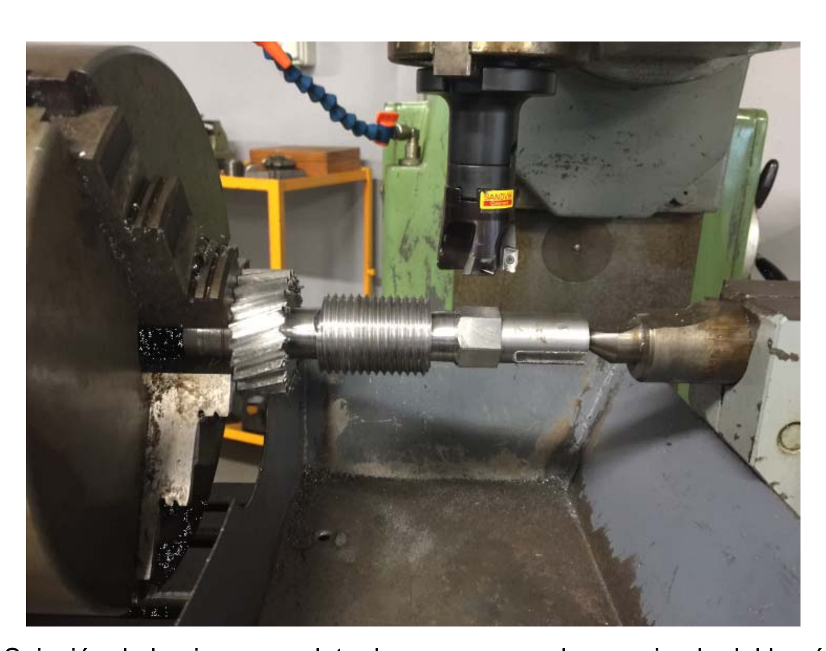


Figura 36. Sujeción de la pieza con plato de garras para el mecanizado del hexágono en la fresadora.

Plato divisor:

1. Para conocer cuántas vueltas debe dar al plato divisor para poder mecanizar cada lado del hexágono, divida el paso del plato divisor (*k*) por el número de lados a mecanizar (*L*) y descomponga la fracción:

$$k/L = 40/6 = \mathbf{6+14/21}$$

Lo que significa que debe dar 6 vuelta y 14/21 de vuelta, con el selector posicionado en el nivel identificado con el número **21** (Figura 33). Recordamos que el número del nivel indica el número de agujeros en ese nivel. Es decir, que el nivel 21 cuenta con **21** agujeros. Entonces, se debe dar 6 vueltas completas, en sentido horario, tomando como referencia el punzón del selector (siempre por el lado del chaflán del brazo del compás) y a partir de ese punto girar hasta contar 14 agujeros (ver Figura 37). Al finalizar las vueltas, el punzón del selector debe quedar posicionado en el otro brazo del compás. Recuerde siempre trabajar entre chaflanes del compás. Recuerde también llevar el compás a la posición adecuada para el siguiente conteo.

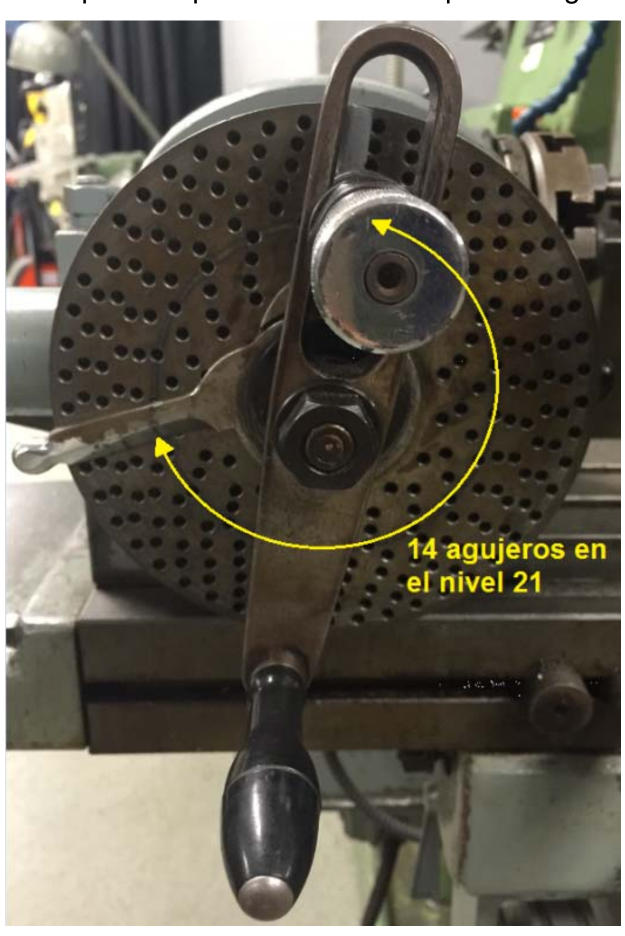


Figura 37. Posición inicial del plato divisor para el mecanizado de las caras del hexágono: posición inicial del selector y del compás abarcando 14 agujeros en el nivel 21.

Alinear la fresa y tomar las referencias:

1. Mueva el eje ‘x’ hasta que la fresa cubra la mitad del ancho que se desea mecanizar, teniendo cuidado de que la fresa no vaya a mecanizar otras partes de la pieza (ver Figura 36). De esta manera, si la referencia no se ha tomado de forma adecuada podrá rectificar en el ancho restante.

2. Referencia del eje ‘z’: Con la fresa en movimiento, suba la mesa con el volante del eje ‘z’, de forma manual, hasta que ésta toque ligeramente el diámetro de 24 mm. Establezca en el visor la referencia z=0.

Mecanizado del hexágono:

1. Mueva el eje ‘x’ hasta que la fresa cubra todo el ancho que se desea mecanizar. Tenga cuidado de que la fresa no vaya a mecanizar otras partes de la pieza.
2. Meta el punzón en un agujero del plato divisor y mueva el compás en la posición inicial (como en la Figura 37).
3. Active el motor de la fresadora, llevando la perilla de activación hasta la posición que garantiza el sentido adecuado del automático.
4. Mecanice dos planos paralelos (desbaste): A partir de la referencia, mecanice un primer plano de 1 mm de profundidad. El mecanizado se hará siempre con el automático del eje ‘y’ para un mejor acabado superficial. Es decir, active el avance ‘Automático’ indicado en la Figura 27 moviendo el mando hacia abajo. Una vez mecanizado el primer plano (y con la pieza desplazada en ‘y’ hasta que no toque la fresa) gire la pieza con ayuda del plato divisor, hasta que el plano que acabamos de mecanizar quede abajo y en posición horizontal. Para ello debe dar 20 vueltas completas (40/2=20) al plato divisor. Una vez en esta posición, mecanizar un segundo plano de 1 mm de profundidad.
5. Mida la distancia entre planos paralelos: Una vez mecanizados los dos planos paralelos, detenga el motor de la fresadora y mida la distancia entre ellos. Si la referencia en ‘z’ fue tomada correctamente, la distancia entre planos debería ser un valor cercano a 22 mm. Supongamos que la distancia entre planos da 22 mm. Entonces quedaría por mecanizar 0.5 mm sobre cada plano para lograr el objetivo de que la ‘distancia’ entre las caras del hexágono sea de 21 mm. De forma genérica, la distancia ‘z’ se deberá ajustar a ZP1=1+(‘distancia’ - 21)/2.
6. Acabado de la primera cara buena del hexágono: Ajuste la distancia ‘z’ al valor calculado en el paso anterior: ZP1 (para el ejemplo anterior sería de 1.5 mm). Mecanice la primera cara buena.
7. Mecanice la siguiente cara buena: Para no estar girando la pieza más de lo necesario, se seguirá con el mecanizado de la segunda cara buena, localizada justo al lado de la primera. No es necesario corregir el valor en ‘z’ (será el mismo, ZP1, para todas las caras restantes). Con el volante del eje ‘y’ aleje la pieza de la fresa (lo suficiente para no mecanizar la pieza mientras se gira). De las vueltas correspondientes en el plato divisor (6+14/21). Mecanice la segunda cara buena (con el automático del eje ‘y’).
8. Siga el paso 7 hasta completar las 6 caras.

CAPÍTULO 6

Mecanizado del chavetero

El chavetero se mecanizará empleando la fresadora (Figura 27), sobre el diámetro de 20 mm. El diámetro de la fresa empleada para mecanizar el chavetero será igual al ancho del chavetero: 6 mm. La profundidad del chavetero (3.5 mm) se mecanizará en tres pasadas: dos de desbaste (1.5 mm y 1.5 mm) y una de acabado (0.5 mm). El mecanizado longitudinal del chavetero (28 mm) se hará con el automático del eje 'x'. La mesa cuenta con topes para detener de forma automática la fresa al alcanzar los 25 mm (aproximadamente). Seguidamente se terminará el mecanizado de forma manual hasta alcanzar los 28 mm.

Para mecanizar el chavetero haga lo siguiente:

Sujeción de la pieza:

1. La pieza se sujetará por ambos extremos entre el plato de arrastre y el contrapunto. El perro de arrastre que se emplea es más ancho de lo normal, para poder situarlo entre los dos tornillos del plato de arrastre. Sitúe éste perro entre los dos tornillos del plato de arrastre y apriételos bien. El perro de arrastre debe de estar bien apretado antes de comenzar el mecanizado.

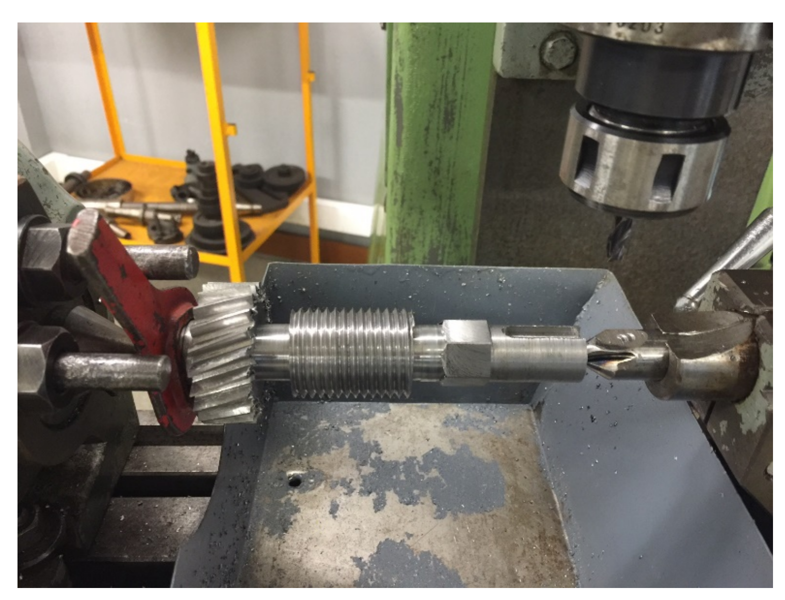


Figura 38. Sujeción de la pieza con plato de arrastre para el mecanizado del chavetero en la fresadora.

Tome las referencias:

1. Referencia del eje 'y': Para tomar esta referencia, con la el motor de la fresa accionado, acerque la fresa a un lateral del diámetro a mecanizar a una altura ('z') aproximada a la altura del eje de la pieza. Toque ligeramente la pieza con la fresa en

movimiento. Establezca en el visor ‘y’=13. Este número viene de sumar el radio de la pieza (20mm/2=10 mm) y el radio de la fresa (6 mm/2=3 mm). De esta forma cuando el visor marque ‘y’=0, se sabrá que la fresa está sobre el eje de la pieza.

2. Referencia del eje ‘z’: Primero, con la el motor de la fresa accionado y con el volante del eje ‘z’ y el volante del eje ‘y’, mueva la pieza de tal forma que la fresa quede sobre el diámetro a mecanizar y al nivel del eje de la pieza (‘y’=0). Con el volante del eje ‘z’, suba la mesa hasta tocar ligeramente la pieza. Esa será la referencia en ‘z’. Establezca en el visor ‘z’=0.
3. Referencia del eje ‘x’: Con el volante del eje ‘x’, y con la el motor de la fresa accionado, mueva la pieza de tal forma que la fresa se sitúe en el extremo de la pieza a mecanizar (extremo derecho según la Figura 38). Con el volante del eje ‘z’, lleve la pieza de tal forma que la fresa quede por debajo de ‘z’=0, hasta salvar el chaflán (en caso de que ya lo haya mecanizado). Con el volante del eje ‘x’, aproxime la pieza a la fresa en movimiento hasta que toque ligeramente el extremo de la pieza. Esa será la referencia en ‘x’. Establezca en el visor ‘x’=0.

Mecanizado del chavetero:

NOTA: Aunque en este caso no se hará uso del plato divisor, si la fresa cuenta con alguno, sitúe el punzón del selector dentro de algún agujero. Por estética, es deseable que el chavetero quede coplanario con una de las caras del hexágono. Pero esto último es opcional.

1. Con la fresa en movimiento, mueva la mesa hasta que la fresa quede en el extremo derecho de la pieza para comenzar el mecanizado (tenga cuidado de no mecanizar el contrapunto). La posición inicial para el mecanizado de la primera pasada de desbaste será: ‘y’=0, ‘z’=-1.5 mm.
2. Active el avance automático del eje ‘x’ (es decir, active el avance ‘Automático’ de la Figura 27 hacia arriba). El sentido del avance automático se controlará con el selector de activación del motor de la fresadora.
3. Cuando se haya mecanizado la longitud limitada por el tope del eje ‘x’, desactive el automático situando el mando del ‘Automático’ en la posición central o neutra.
4. Termine de mecanizar la longitud total (28 mm) de forma manual.
5. Con el volante del eje ‘x’, vuelva a la posición inicial de mecanizado (fresa a la derecha de la pieza).
6. Con el volante del eje ‘z’ suba la mesa para realizar la siguiente pasada de desbaste (z=-3mm). Seguir los pasos del 2 al 5.
7. Mecanice la última pasada, la de acabado, a z=-3.5 mm, siguiendo los pasos del 2 al 5.
8. Finalmente, saque la pieza y lime cualquier residuo que haya quedado en el chavetero.

CAPÍTULO 7

Mecanizado de la tuerca

Rosca Exterior

Moleteado

El objetivo es mecanizar la tuerca de ϕ55 mm que rosque en la rosca exterior que se ha mecanizado previamente en la pieza (la rosca exterior de M32 x 3, CAPÍTULO 3).

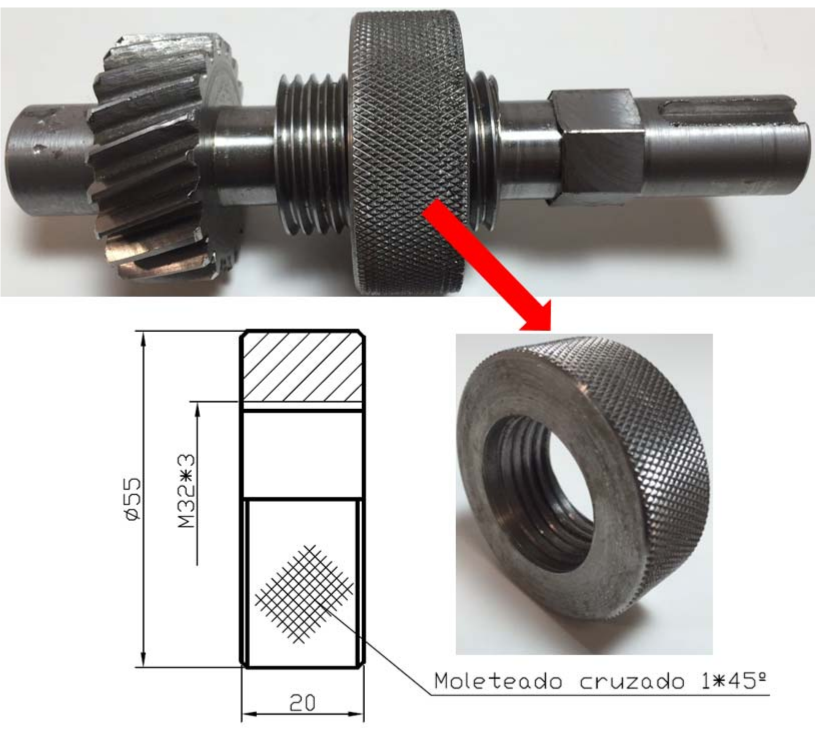


Figura 39. Tuerca a mecanizar. Roscado interior y moleteado.

Según el plano se debe realizar una rosca interior M32 x3 y un moleteado cruzado de 1x45º.

El procedimiento se dividirá en seis etapas:

Etapa I. Mecanizado de un *escalón* para sujetar bien la pieza mientras se taladra y se rosca (NOTA: no quita la pieza de su sujeción durante esta etapa):

1. Mida la pieza en bruto inicial para saber las holguras.
2. Sujete la pieza en bruto inicial con el plato de garras dejando libre aproximadamente un **50%** de su ancho. (NOTA: Para una buena sujeción con las garras, vaya girando la pieza en bruto con la mano derecha mientras aprieta las garras con la mano izquierda).

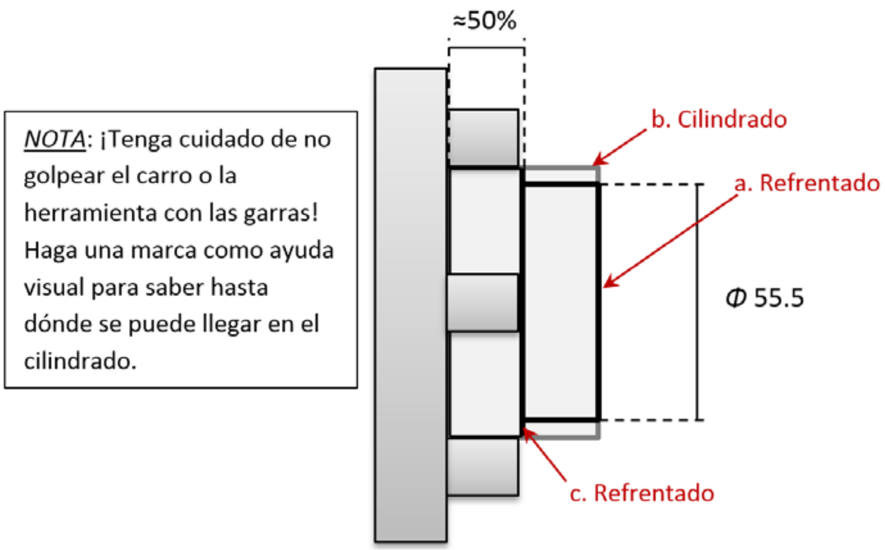


Figura 40. Sujeción de la pieza en bruto para mecanizar el escalón. Medidas del escalón. Operaciones en la Etapa 1.

3. **Refrente** en automático para limpiar la superficie: Dos pasadas de 0.5 mm cada una, a 750 r/min. (NOTA: Tenga mucho cuidado de que las garras no golpeen el carro).

4. **Cilindre manualmente** para hacer el escalón:
    a. En parado, desplace la herramienta justo a un 'z' que salve las garras del plato. Establezca la referencia en el visor en z=0 en este punto. Así sabrá hasta dónde puede llegar para que la herramienta no choque con las garras.
    b. En movimiento (750 r/min) haga una marca en esta referencia (z=0), para que cuente también con una ayuda visual.
    c. Cilindre **manualmente** hasta **55.5 mm** de diámetro y hasta la referencia z=0. (NOTA: Durante el cilindrado no pase de z = 0, para no golpear las garras).
5. **Refrente manualmente** el escalón: Una vez terminado el cilindrado, y sin sacar la pieza de las garras, refrente el escalón sólo lo suficiente (unos 0.2 mm) para dejar un ángulo de 90º.

Etapa II. Agujero

1. De la vuelta a la pieza y asiéntela en el escalón que ha mecanizado en la Etapa I. Si es necesario, ayúdese con el martillo de cabeza de goma. De esta forma la pieza tendrá un apoyo para soportar de forma adecuada las fuerzas axiales del taladrado y posteriormente del roscado.

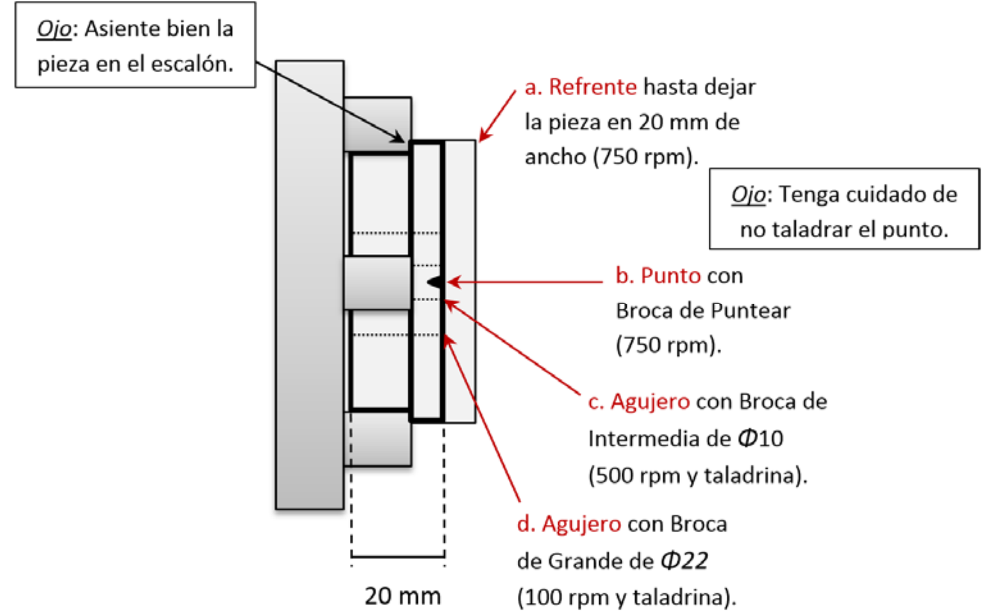


Figura 41. Posición de la pieza, asentada con el escalón en las garras. Operaciones para taladrar el agujero.

2. **Refrente** en automático y deje la pieza con la medida que indica el plano: 20 mm de ancho.
3. Haga un **punto guía** con la **broca de puntear:** Taladre hasta que sobrepase el cuello inicial de la broca de puntear unos 5 mm. Realice esta operación a una velocidad de rotación del cabezal de **750 r/min**.
4. Con una **Broca Intermedia** de aproximadamente 10 mm, atraviese la pieza. Hágalo empleando **fluido de corte**, a **500 r/min** y avanzando manualmente de forma lenta y constante. (NOTA: Tenga cuidado de no taladrar el punto del torno).
5. Con una **Broca Grande** de 22 mm, atraviese la pieza. Hágalo con **fluido de corte**, a **100 r/min** y avanzando manualmente de forma lenta y constante. Al final del taladrado, siga avanzando de forma lenta y constante. (NOTA: Tenga cuidado de no taladrar el punto del torno).

NOTA: La Etapa III (mecanizado interior) y la Etapa IV (roscado interior) debe hacerlas, sin sacar la pieza de la sujeción, para asegurar que la rosca interior se mecanice de forma correcta. Por lo tanto, estas dos etapas deberá hacerlas el mismo día.

Etapa III. Mecanizado interior del agujero:

1. Cambie la **herramienta** a una de **cilindrado interior** (Figura 42)**.** Utilice el calzador grande que le proporcionará el técnico(a). Sitúe el conjunto en la torreta (sin chapas calzadoras adicionales) y en sentido paralelo al eje de la tuerca.



a b

Figura 42. (a) Herramienta de cilindrado interior empleada en las prácticas. (b) Herramienta y plaquita moderna de cilindrado interior.

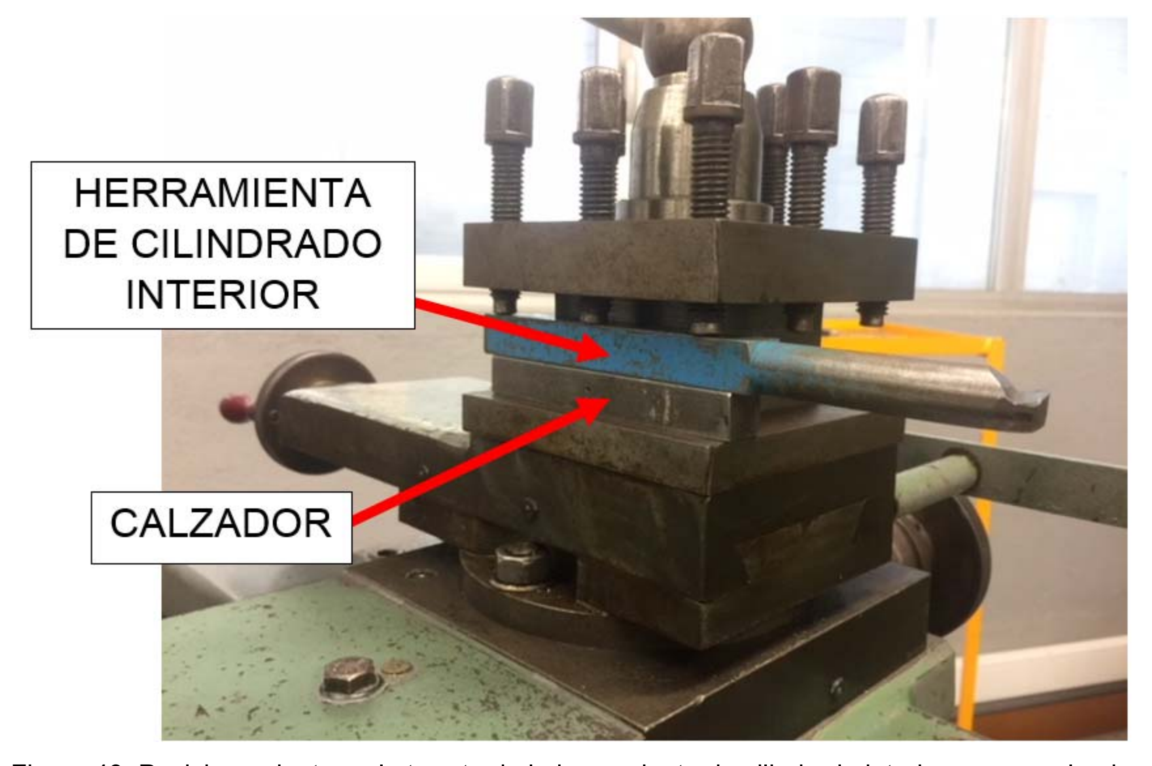


Figura 43. Posicionamiento en la torreta de la herramienta de cilindrado interior con su calzador.

2. Referencia en ‘x’: Tome la referencia, tocando ligeramente el diámetro interior. Establezca en el visor x=0. (NOTA: Tenga cuidado con las direcciones de avance en ‘x’, ya que ahora el cilindrado se hará de dentro hacia afuera).
3. **Cilindre** en automático hasta que el agujero tenga un diámetro de:

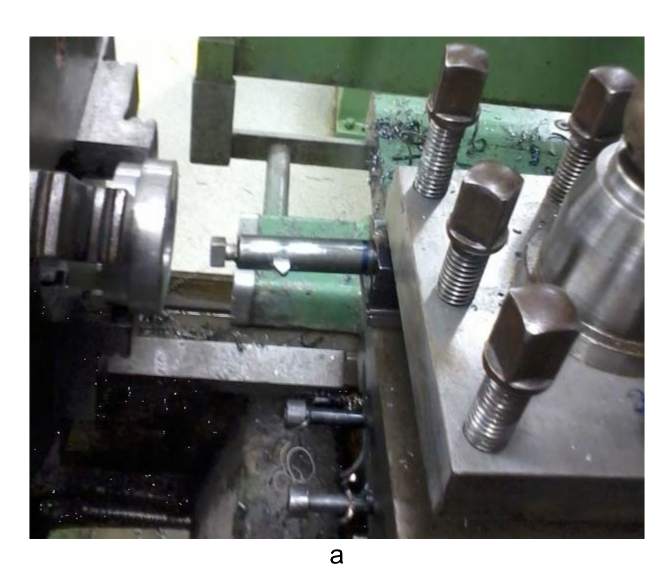
   (ϕRosca Exterior) – (3 mm).

   Si el diámetro de la rosca exterior ha sido mecanizada como indica el plano, entonces el diámetro del agujero deberá ser de: 32 – 3 = 29 mm.

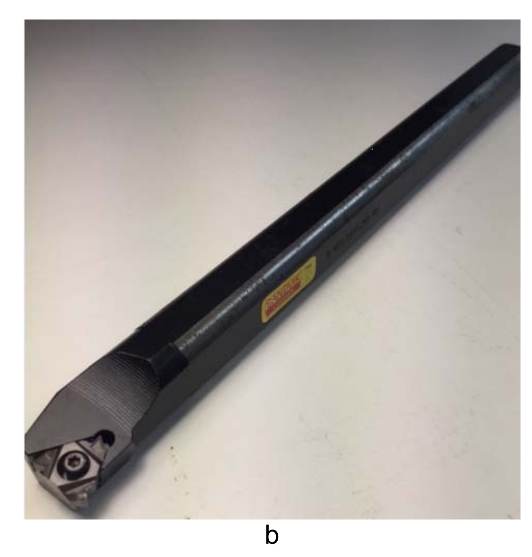
Etapa IV. Roscado interior

1. Cambie la **herramienta** a una **de roscado interior** (Figura 44). La herramienta tiene una marca hecha con rotulador para situar su longitud a la distancia adecuada. Suba la herramienta con calzadores (generalmente se necesitan todos los calzadores disponibles en el puesto de trabajo) para que la herramienta quede centrada y **no**

roce por debajo con la pieza. Considere el posible rozamiento no sólo al inicio del mecanizado de la rosca sino también al final del mismo. La altura adecuada de la herramienta va a depender de cada herramienta y de cada agujero. Pida asesoramiento al profesor o al técnico.



a



b

Figura 44. (a) Herramienta para el roscado interior empleada en las prácticas. (b) Herramienta con plaquita moderna para el roscado interior.

2. Sitúe el filo de la herramienta perpendicular a la superficie que va a mecanizar. Para ello, sitúe las patas de la plantilla de roscar de 60 º apoyadas en el plato de garras y haga coincidir el filo de la herramienta con la abertura de 60º de la plantilla, moviendo la torreta (Figura 45).



Figura 45. Posicionamiento de la herramienta de roscado interior perpendicular a la superficie a mecanizar.

3. Referencia en ‘x’: En movimiento, toque ligeramente la pieza en el diámetro interior a roscar con la herramienta de roscar. Establezca en el visor x=0.
4. Al igual que para el roscado exterior, posicione las palancas para roscar según la tabla de roscas ‘M/M’ de la máquina (Figura 46).

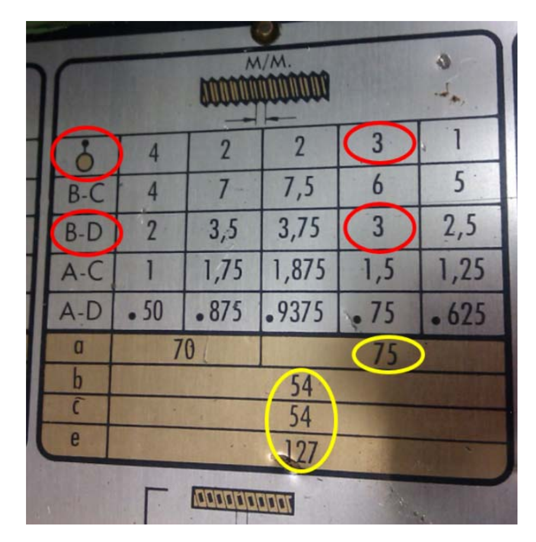


Figura 46. Tabla M/M para posicionar las palancas para roscado con paso de 3 mm y 60º. En rojo se resalta el paso de 3 mm y la posición de las palancas y en amarillo los piñones que debe ponerse en la máquina.

Son las mismas posiciones que se usaron para el roscado exterior.

La palanca principal debe estar en el número 3.

La palanca ‘AB’ debe estar en B

La palanca ‘CD’ debe estar en D

En parado, accione el mando de avance automático de roscar y déjelo en esa posición hasta que toda la rosca esté mecanizada y verificada por el técnico o el profesor.



Figura 47. Posición de las palancas para roscado con paso de 3 mm y 60º (según tabla M/M).

Los piñones necesarios (resaltados con círculos amarillos en la Figura 46) para llevar a cabo el roscado estarán ya puestos en la máquina: a: 75, b: 54, c: 54 y e: 127.

6. La velocidad para roscar será inicialmente de 62 r/min. Y luego para el acabado de la rosca se bajará a 50 r/min.
7. Se empleará fluido de corte durante el roscado para disipar el calor en la zona de corte. Tenga cuidado de que la manguera del fluido de corte no choque con las garras.

8. Se mecanizará la rosca hasta una profundidad de 3.2 mm. Pero al llegar a **3 mm** es necesario probar si se produce el ajuste entre la rosca interior y la rosca exterior. Esto se hará SIN SACAR LA TUERCA, roscando la pieza en la tuerca.
9. Esta profundidad se alcanzará en varias pasadas siguiendo una 'penetración por flanco modificada', como en el caso del roscado exterior.

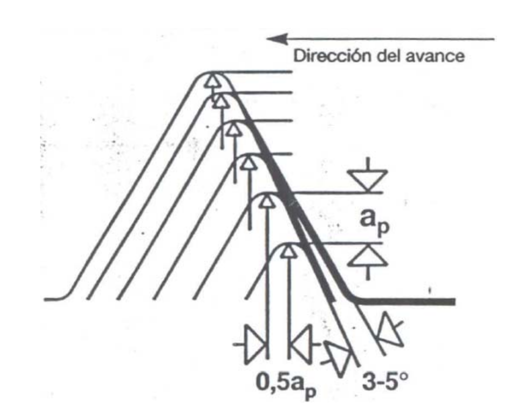


Figura 48. Penetración por flanco modificada.

Las profundidades de corte radiales y axiales serán como sigue:

(NOTA: antes de empezar, asegúrese de que el avance automático tiene el sentido correcto)

a) Desde 0 a 2.4 mm mecanice con una profundidad de corte de 0.2 mm en el eje 'x' y 0.05 mm en el eje 'z'.

b) Desde 2.4 a 3.2 mm mecanice con una profundidad de corte de 0.1 mm en el eje 'x' y 0 mm en el eje 'z'. Al llegar a **3 mm** compruebe si rosca la pieza en la tuerca: **Sin sacar la tuerca**, sople con la pistola de aire comprimido y pruebe si la pieza rosca en la rosca que se está mecanizando. Si no rosca, continúe con las indicaciones dispuestas en (c).

c) Las últimas pasadas (acabado) se harán a menor velocidad: 50 r/min, y se mecanizará con una profundidad de corte de 0.05 mm en el eje 'x' y 0 mm en el eje 'z'.

NOTA: **A partir de 3 mm**, pedir asistencia al profesor o al técnico para ir viendo la evolución de la roca y saber cuántas pasadas adicionales faltarían.

NOTA: No forzar el roscado de las piezas porque podrían soldarse.

Etapa V. Cilindrado de la tuerca

Una vez finalizada la rosca interior se procederá a dejar la tuerca con el diámetro indicado en el plano (55 mm).

1. Rosque la tuerca en la pieza principal, pero ponga antes un casquillo entre el piñón helicoidal y la tuerca para evitar que ésta última se mueva (Figura 49).
2. Cambie la herramienta a una de cilindrado exterior.
3. Tome las referencias y cilindre el diámetro exterior de la tuerca hasta dejarlo en 55 mm, tal y como indica el plano de la Figura 1 (Figura 49).

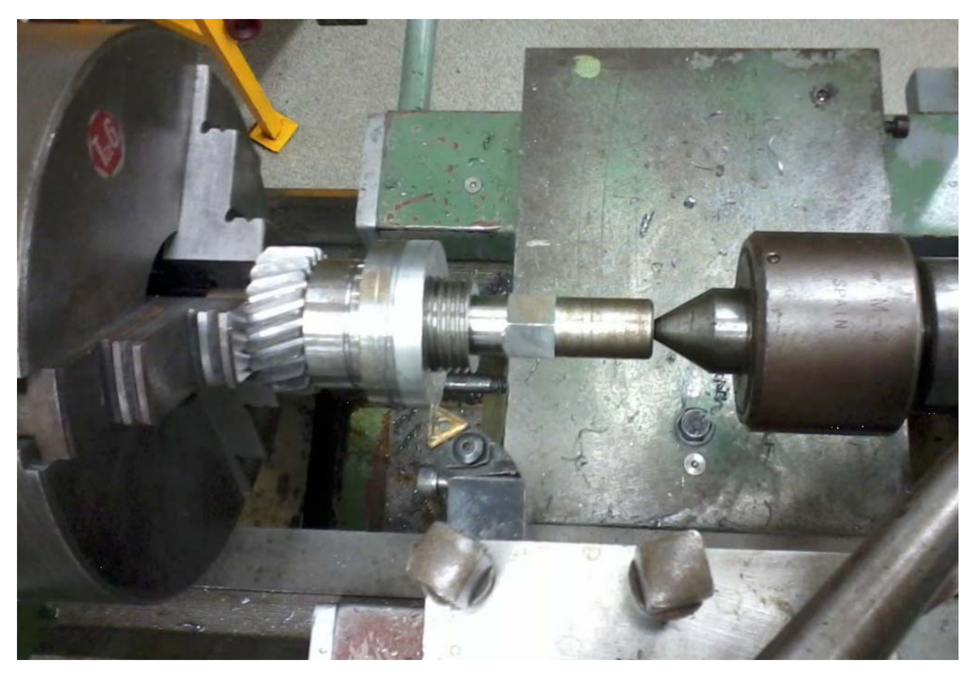


Figura 49. Cilindrado exterior de la tuerca.

Etapa VI. Moleteado

El moleteado de la tuerca se hará por medio de una operación de conformado en frío llamada *laminado*. Para realizar esta operación se emplea una herramienta llamada moleta (Figura 50), que consta de 6 rodillos, agrupados en pares, que transfieren una determinada textura a la pieza a través de la fuerza de compresión que se ejerce sobre la superficie a moletear. A los rodillos se les suele llamar también moletas. Esta operación se realiza en el torno.



Figura 50. Moleta (herramienta para realizar moleteados).

El moleteado se realizará sobre la superficie de la tuerca, para facilitar su manipulación. El par de rodillos que se empleará será el de textura media.

Los pasos para moletear la tuerca son los siguientes:

1. Rosque la tuerca en la pieza principal, pero poniendo antes un casquillo entre el piñón helicoidal y la tuerca para evitar que ésta última se mueva (Figura 51).

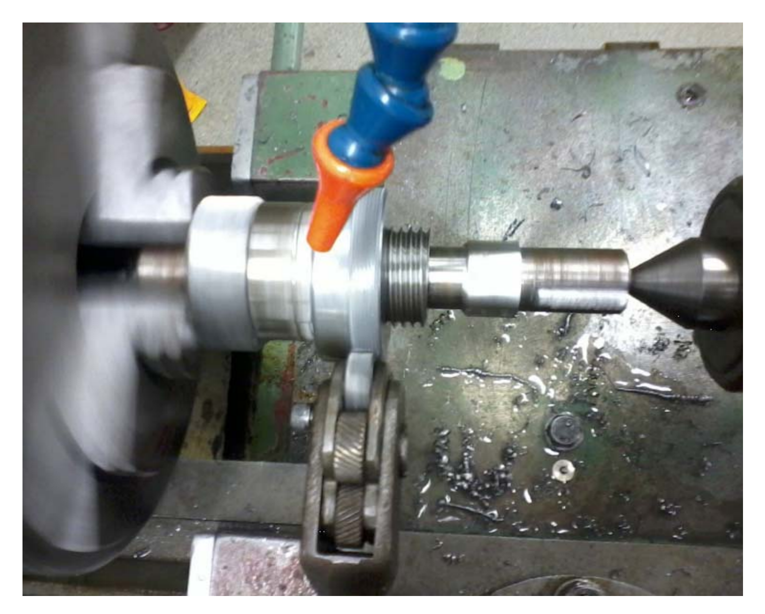


Figura 51. Moleteado de la superficie de la tuerca.

2. Use una velocidad de giro del husillo de 62 r/min (es decir: B-III-1, según la tabla de velocidades del husillo de la Figura 6).
3. Instale la moleta en la torreta, y ajústela con plantillas en el eje 'y' de tal forma que la distancia media entre los dos rodillos a emplear coincida (de forma aproximada) con el eje de la pieza. Apriete muy bien los tornillos que sujetan la moleta. Si es posible, asegure la herramienta con los tres tornillos de la torreta. Fije también muy bien el giro de la torreta (para evitar que se mueva). En el moleteado, los esfuerzos sobre la herramienta y sistemas de sujeción son elevados.
4. Con el volante del eje 'z', desplace la herramienta hasta que el 50% del ancho de los rodillos de la moleta esté dentro del ancho a moletear.
5. Con la pieza en movimiento, y con el **fluido de corte** cayendo sobre la zona a moletear, utilice el volante del eje 'x' para ejercer presión sobre la superficie de la tuerca hasta que la textura transferida tenga la profundidad deseada. Es caso de duda consulte al profesor o al técnico del taller.
6. Una vez regulada la compresión, active el mando del avance automático de cilindrar para realizar el moleteado longitudinal.
7. Cuando los rodillos hayan salido la pieza en un 50%, desactive el avance automático de cilindrar, retire la moleta de la pieza y pare el torno.
8. Finalmente, para terminar la tuerca, mecanice los chaflanes. El procedimiento para el mecanizado de los chaflanes se explica en el CAPÍTULO 8.

CAPÍTULO 8

Mecanizado de los chaflanes

En la Figura 52 se muestran los 4 chaflanes que se deben mecanizar en la pieza. En la tuerca también se mecanizarán chaflanes en ambos extremos.

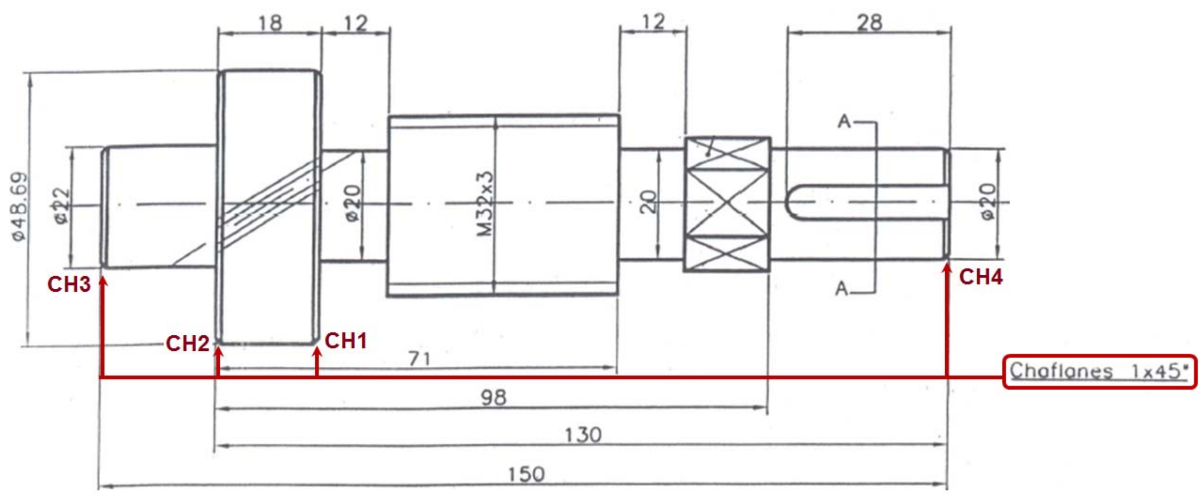


Figura 52. Plano de la pieza a mecanizar, identificando los chaflanes y sus medidas.

Según el plano, los chaflanes tendrán un milímetro por lado en un ángulo de 45º, como se muestra en la Figura 52.

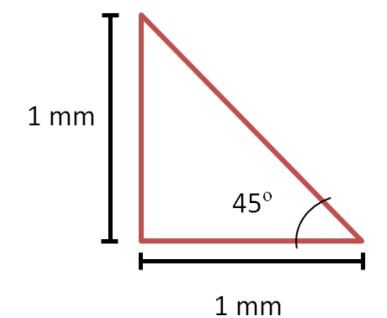


Figura 53. Dimensiones del chaflán.

Hay ciertos chaflanes (CH3 y CH4) localizados en zonas de difícil acceso que deberá mecanizar con extremo cuidado para no golpear la herramienta, el carro o la pieza.

En todos los chaflanes, con el motor parado, verifique manualmente el recorrido que hará la herramienta al realizar el chaflán para comprobar que no se produce ninguna interferencia en el movimiento.

Posicione la herramienta de tal forma que sea la punta lo que realice en mecanizado.

El procedimiento para mecanizar los chaflanes es el siguiente:

1. Sujete la pieza entre puntos con ayuda del plato de arrastre o el plato de garras. Si se emplea el plato de arrastres, asegúrese de apretar bien el perro de arrastre una vez posicionada la pieza entre los puntos. Ajuste el contrapunto de forma habitual (de tal manera que al tratar de girar la pieza de forma manual pueda hacerlo pero con cierta dificultad).
2. Quite la estructura que sostiene la pantalla de protección, soltando los tornillos con la llave 12-13. Sitúela en un lugar seguro y asegúrese de no perder los tornillos.

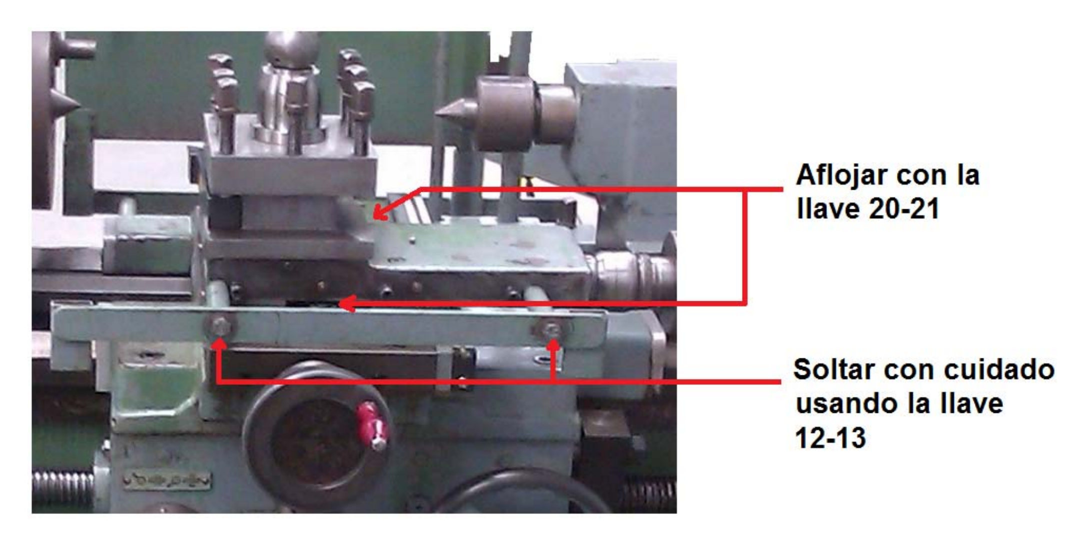


Figura 54. Tornillos que sujetan la estructura de la pantalla protectora.

3. Afloje los tornillos de la parte superior del carro (sin sacarlos, sólo aflojarlos) con la llave 20-21.
4. Teniendo cuidado de no golpear la herramienta, gire la parte superior del carro (junto con la torreta) los 45º indicados en el plano para los chaflanes. La base de la torreta cuenta con una graduación en grados (Figura 55).



Figura 55. Giro de la parte superior del carro a 45º.

5. Apriete los tornillos de la torreta (sin apretarlos demasiado para evitar que se estropeen las roscas).

6. Gire la torreta de tal forma que la punta de la plaquita sea lo que vaya a mecanizar la pieza (Figura 56).



Figura 56. Posicionamiento del utillaje y herramienta para mecanizar los chaflanes.

7. Con el motor desactivado, verifique de forma manual el recorrido que haría la herramienta al mecanizar para así comprobar que puede hacerlo sin chocar con el contrapunto o con otra parte del torno o de la pieza.
8. Referencias en ‘x’: En movimiento, con el volante del eje ‘x’, acerque de forma manual la herramienta a la arista que se desea achaflanar. Con el volante del carro del eje ‘z’ (ya inclinado a 45º), pase sobre la arista. Si no toca la arista, siga acercándose. Primero acérquese con el volante del eje ‘x’ y luego con el volante del carro del eje ‘z’, hasta que la punta de la plaquita toque ligeramente la arista que se desea achaflanar. Esta será la referencia en el eje ‘z’. Establezca en el visor: z=0.
9. Con el volante del eje ‘z’, avanzar 1 mm y mecanizar el chaflán con el volante del carro.
10. Repetir los pasos del 6 al 9 para mecanizar el resto de los chaflanes.



Figura 57. Mecanizado del chaflán CH3.

ANEXO

Evolución del mecanizado por arranque de viruta

Desde hace unas décadas las máquinas herramientas han experimentado una creciente evolución y mejora. En este cambio fue trascendental la participación de la electrónica y la informática, que dieron lugar a las denominadas máquinas herramientas con CNC.

Inicialmente estas mejoras consistieron en incorporar a un torno paralelo o a una fresadora universal un control computarizado (ordenador con alguna característica especial) capaz de controlar los parámetros de corte del proceso de mecanizado y los movimientos de la herramienta o de la pieza –dependiendo del tipo de mecanizado–. Los exigentes requerimientos en el acabado superficial de las piezas, la reducción de la tolerancia de fabricación, la necesidad constante por aumentar la productividad de las máquinas-herramienta, unido a la innovación y a la investigación, han cambiado no solo el aspecto físico de las mismas sino también han aumentado su funcionalidad para poder hacer frente a las exigencias de la industria actual.



Figura 58. Torno CNC de dos ejes de la casa Kent USA (CSM-1440CNC). Foto cedida por Kentusa (Kent, USA, 2017).

Con la incorporación del CNC en las máquinas-herramienta se obtuvieron las siguientes ventajas:

- Es posible trabajar de forma continua (24 horas, 365 días al año), parando sólo para realizar servicios de mantenimiento o reparación.

- Se puede reproducir gran cantidad de piezas iguales o muy parecidas con gran exactitud y precisión.
- Con software CAD (diseño asistido por ordenador) - CAM (manufactura asistida por ordenador) es posible programar de manera sencilla el mecanizado de la pieza (operaciones, herramientas, parámetros de corte, etc.).
- En este tipo de máquinas es posible hacer la simulación del proceso de mecanizado y de esta forma detectar posibles errores de programación antes de que la máquina mecanice la pieza.
- Se tiene la posibilidad de fabricar piezas muy complejas.
- Al ser máquinas automatizadas de alta precisión, un solo operario es capaz de supervisar el correcto funcionamiento de varias máquinas-herramienta con CNC a la vez (con su programa de mecanizado ya verificado).

Sin embargo, este tipo de máquina-herramienta con CNC también presenta algunos inconvenientes, como los que se listan a continuación:

- La inversión inicial es bastante mayor a la que se haría para comprar una máquina convencional.
- La automatización de estas máquinas ha hecho que se haya perdido el conocimiento profundo de las operaciones y la habilidad de los operarios que antes se obtenían con las máquinas convencionales.
- La reparación y el mantenimiento de estas máquinas con CNC suelen ser mucho más complicadas y costosa que la de una máquina convencional (gran parte de sus elementos son electrónicos), dependiendo en muchos casos del técnico especialista proporcionado por el fabricante de la máquina.

Por otro lado, la evolución de las herramientas empleadas en las máquinas-herramienta se ha centrado en utilizar plaquitas, para un fácil intercambio, y mejorar las geometrías del filo y rompe-viruta para un desalojo efectivo y eficiente de la viruta del punto de corte. Además se emplean materiales más resistentes a los diferentes tipos de desgaste que se producen durante el mecanizado. En el texto se han mostrado diferentes ejemplos de herramientas con plaquitas (insertos).

En la punta de la flecha de la evolución de este tipo de máquinas, encontramos los centros de mecanizado llamados *multi-task* o multi-tarea, donde es posible combinar varios procesos de mecanizado, tales como torneado, fresado, taladrado, roscado, etc. en una misma máquina. Este tipo de máquinas juegan un papel importante en la constitución de las llamadas *fábricas inteligentes*. Sus características más destacables son un porta-herramienta de gran capacidad, la disponibilidad de varios cabezales de sujeción de la pieza y al aumento de los grados de libertad de la herramienta. Estas máquinas son capaces de mecanizar piezas con varias operaciones en una o dos atadas, eliminando los tiempos muertos que se originan en el cambio de puesto. Además, tienen gran precisión y alta calidad, reduciendo considerablemente los tiempos empleados en el control de calidad.

El hecho de poder realizar varias operaciones en una misma máquina ha reducido enormemente las imprecisiones que pueden presentarse cuando se desplazan las piezas a través de varias estaciones de trabajo. En consecuencia, el inventario de trabajo en proceso se reduce respecto al del conjunto de las máquinas-herramienta independientes que serían necesarias para realizar las mismas operaciones.



Figura 59. Centro de mecanizado multi-tarea de la casa Nakamura-Tome (WT-150II). Foto cedida por Nakamura-Tome (Nakamura-Tome, 2017).

Las ventajas del centro de mecanizado multi-tarea se listan a continuación (Mazak, 2017):

- Posibilidad de mecanizar en más de tres ejes.
- Reducciones significativas de plazos de producción y costos de las piezas.
- Mejoras en la precisión del mecanizado y calidad general de la pieza.
- Mayor capacidad, flexibilidad, productividad y rentabilidad.
- Aumento en el flujo efectivo de producción, mediante la producción de piezas sobre pedido.
- Reducción de coste de las piezas (una vez superada la inversión inicial) al tener menos necesidad de accesorios, herramientas y mano de obra.
- Aumento en los tiempos de corte.
- Disponibilidad de espacio adicional al unificar lo que antes se hacía en varias máquinas en una.
- Carga y descarga automática integrada al ciclo de mecanizado para una operación autónoma.
- Las grandes empresas y fabricantes de equipos originales logran ciclos de producción-pago más cortos.
- Talleres y contratistas obtienen una estructura de precios más rentable.

Sin embargo, los centros de mecanizado multi-tarea presentan también algunas desventajas, tales como:

- Alto coste de inversión inicial (coste de la máquina multi-tarea bastante elevado).
- Falta de opciones o alternativas en caso de avería total.

- Es necesario programar de forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operaciones.
- Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.

En los links que se indican al final del texto (Fuentes Bibliográficas) se puede obtener más información de este tipo de máquinas.

En cuanto a la pieza ejemplo que se emplea en este texto (Figura 1), ésta se podría mecanizar en una sola estación de trabajo empleando una máquina multi-tarea. Este tipo de máquina permite realizar todas las operaciones necesarias descritas en los diferentes capítulos del libro: cilindrado exterior e interior, refrentado, ranurado, taladrado, roscado exterior e interior, planeado de las caras del hexágono, fresado del piñón helicoidal, perfilado y moleteado. Sin embargo, para el mecanizado automático de toda de la pieza se debe invertir un tiempo considerable en la programación de la máquina multi-tarea a través de un software CAD/CAM. Posteriormente, sería necesario realizar la simulación del mecanizado de la pieza para detectar posibles errores o mejoras. Una vez verificado el programa, sería posible reproducir una gran cantidad de piezas iguales con buen acabado superficial y cumpliendo con las tolerancias.

El conocimiento adquirido en las prácticas desarrolladas en este libro, empleando un torno semiautomático, facilitaría la tarea de programación de las máquinas automática con CNC en cuanto a la elección del orden de las operaciones, el tipo de herramienta, el uso o no de refrigerante y los parámetros de corte más adecuados (velocidades y profundidades de corte, velocidades de avance, etc.).

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

Casillas, A. L. (2009). *Máquinas. Cálculos de taller* (40ª ed.). Madrid: Máquinas.

Hass-Automation-Inc. (2017). Empresa fabricante de máquina-herramienta con CNC: Hass Automation Inc. Recuperado de: http://int.haascnc.com/lathe_intro.asp?intLanguageCode=1034

Hoffmann-Group, Instituto-Frauhofer. (2016). *Manual de arranque de viruta Grant*. Colonia, Alemania: Hoffmann Group. Recuperado de: https://www.hoffmann-group.com/ES/es/hoe/service/downloads/zerspanungshandbuch

IMH. (2017). Instituto de Máquina-Herramienta. Retrieved from http://www.imh.eus/

Interempresas-media. (2017). Plataforma web de información de la industria: Interempresas media. Recuperado de: https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/155557-Maquinas-hibridas-El-multitasking-llevado-hasta-el-limite.html

Izaro. (2017). Grupo editorial Izaro de tecnología de fabricación. Recuperado de: http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=3&su=32&co=1414154361

Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.

Kent (USA). (2017). Empresa fabricante de máquina-herramienta: Kent USA. Retrieved from www.kentusa.com

Mallorquín, S., Carrasco, J. (2012). *Prácticas y Procesos de Taller de Mecanizado: Fabricación por Arranque de Viruta*. Barcelona: Marcombo Formación.

Mazak (2017). Empresa fabricante de máquina multi-tarea: Mazak. Recuperado de: https://www.mazakusa.com/es/machines/process/multi-tasking/

Nakamura-Tome (2017). Empresa fabricante de máquinas multiherramientas: Nakamura-Tome. Recuperado de: http://www.nakamura-tome.co.jp/en/

Sandvik Coromant (1994). *El mecanizado moderno. Manual Práctico*. (D. de E. Técnicas, Ed.). Suecia: Sandvik Coromant.

Sandvik Coromant (2017). Empresa fabricante de herramienta de mecanizado: Sandvik Coromant. Recuperado de: https://www.sandvik.coromant.com



Servicio de Publicaciones
Biblioteca Universitaria
C/ Piscinas, s/n
26006 Logroño (La Rioja)
Teléfono: 941 299 187

http://publicaciones.unirioja.es
www.unirioja.es